GESELLSCHAFT
FÜR INFORMATIK

A. Meyer-Aurich, M. Gandorfer, C. Hoffmann, C. Weltzien,
S. Bellingrath-Kimura, H. Floto (Hrsg.)

Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft

Fokus:
Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten

Referate der 41. GIL-Jahrestagung

08.–09. März 2021, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Potsdam

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings
Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)

Volume P-309

ISBN 978-3-88579-703-6
ISSN 1617-5468

Volume Editors

PD Dr. Andreas Meyer-Aurich
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
14469 Potsdam, Germany;
Email: ameyer@atb-potsdam.de

PD Dr. Markus Gandorfer
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung (LfL)
85354 Freising, Germany;
Email: markus.gandorfer@lfl.bayern.de

Dr. Christa Hoffmann
oeconos GmbH
73265 Dettingen, Germany;
Email: christa.hoffmann@oeconos.de

Prof. Dr.-Ing. Cornelia Weltzien
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
14469 Potsdam, Germany;
Email: CWeltzien@atb-potsdam.de

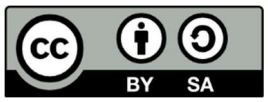
Prof. Dr. Sonoko D. Bellingrath-Kimura,
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF)
15374 Müncheberg, Germany;
Email: belks@zalf.de

Helga Floto
GIL-Geschäftsführung
73730 Esslingen, Germany;
Email: gil.floto@gmail.com

Series Editorial Board
Andreas Oberweis, KIT Karlsruhe,
(Chairman, andreas.oberweis@kit.edu)
Torsten Brinda, Universität Duisburg-Essen, Germany
Dieter Fellner, Technische Universität Darmstadt, Germany
Ulrich Flegel, Infineon, Germany
Ulrich Frank, Universität Duisburg-Essen, Germany
Michael Goedicke, Universität Duisburg-Essen, Germany
Ralf Hofestädt, Universität Bielefeld, Germany
Wolfgang Karl, KIT Karlsruhe, Germany
Michael Koch, Universität der Bundeswehr München, Germany
Peter Sanders, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Germany
Andreas Thor, HFT Leipzig, Germany
Ingo Timm, Universität Trier, Germany
Karin Vosseberg, Hochschule Bremerhaven, Germany
Maria Wimmer, Universität Koblenz-Landau, Germany

Dissertations
Steffen Hölldobler, Technische Universität Dresden, Germany
Thematics
Agnes Koschmider, Universität Kiel, Germany
Seminars
Judith Michael, RWTH Aachen, Germany

© Gesellschaft für Informatik, Bonn 2021
printed by Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn



This book is licensed under a Creative Commons BY-SA 4.0 licence.

Vorwort

Die 41. Jahrestagung 2021 der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL) verfolgt das Leitthema „Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten“. Die aktuellen Herausforderungen der Eindämmung der Corona-Pandemie haben beispiellose Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft und verändern auch viele Abläufe in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Der eingeschränkte weltweite Handel wirkt sich sowohl auf Absatzmöglichkeiten als auch auf die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln aus. Saisonarbeitskräfte sind nur stark eingeschränkt verfügbar, ihr Einsatz schwer planbar. Insbesondere Bereiche mit handarbeitsintensiven Arbeiten (z.B. Spargelernte, Unkrautregulierung) sind stark betroffen. Sich ändernde Konsummuster und Hygieneauflagen bieten gleichsam Chancen und Grenzen für Geschäftsmodelle im Agrarsektor. Innovation ist gefragt, um auch in Zukunft erfolgreich sein zu können.

Inwiefern kann die Digitalisierung in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft helfen, die Auswirkungen der Krise abzufedern? Können digitale Lösungen beispielsweise direktvermarktenden Betrieben helfen, die aktuellen Herausforderungen besser zu meistern? Inwieweit werden Entwicklungen im Bereich der Agrarrobotik aber auch Decision Support Systeme an Bedeutung gewinnen? Ist die dynamische Entwicklung hin zu digitalen Beratungs- und Bildungsangeboten für die Branche ein Zukunftsmodell? Die Jahrestagung der GIL 2021 wird sich intensiv mit der Digitalisierung in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft in der Corona-Krise auseinandersetzen. Welche Entwicklungstendenzen im Bereich der Digitalisierung gewinnen jetzt besonderes an Dynamik? Über das Leitthema hinaus adressiert die Tagung wichtige Fragen des möglichen Beitrags der Digitalisierung zu einer nachhaltigen Land-, Forst und Ernährungswirtschaft. Dieses Jahr zum zweiten Mal mit einer Darstellung von elf der vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten „digitalen Experimentierfelder“, die nach einem gesonderten Begutachtungsprozess in den Band aufgenommen wurden. Erste Ergebnisse der Experimentierfelder sind auch schon in die fachlichen Beiträge eingegangen und dort entsprechend gekennzeichnet.

Der vorliegende Tagungsband enthält 55 wissenschaftliche Beiträge, die aus 74 eingereichten Abstracts nach einem zweistufigen Begutachtungsverfahren hervorgegangen sind. Unser Dank geht schließlich an alle Autorinnen und Autoren, Vortragende, sowie Gutachterinnen und Gutachter für ihr Engagement. Ein besonderer Dank gilt der Landwirtschaftlichen Rentenbank für die Unterstützung bei der Finanzierung des Tagungsbandes. Weiterhin danken wir den Sponsoren für ihre finanzielle Unterstützung und all denjenigen, die an der Organisation der Tagung aktiv mitgewirkt haben.

Potsdam, im Januar 2021

PD Dr. Markus Gandorfer, LfL, 1. Vorsitzender der GIL
Dr. Christa Hoffmann, oeconos GmbH, 2. Vorsitzende der GIL
Helga Floto, GIL-Geschäftsführung

PD Dr. Andreas Meyer-Aurich, ATB
Prof. Dr. Cornelia Weltzien, ATB
Prof. Dr. Sonoko Bellingrath-Kimura, ZALF

Wir danken der Landwirtschaftlichen Rentenbank für die freundliche Unterstützung.

Wir danken den folgenden Unternehmen und Institutionen für die Unterstützung der Konferenz.

Amazonen Werke H. Dreyer GmbH
& Co.KG
Hasbergen –Gaste

Deutschland

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten
München

Deutschland

BayWa AG
München

Deutschland

dawin® gmbh
Troisdorf

Deutschland

DIN
Deutsches Institut für Normung e.V.
Berlin

Deutschland

FarmFacts GmbH
Pfarrkirchen

Deutschland

John Deere GmbH & Co.KG
Kaiserslautern

Deutschland

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Potsdam

Deutschland

Pessl Instruments GmbH
Weiz

Österreich

pragmatic minds GmbH
Kirchheim unter Teck

Deutschland

smaXtec animal care GmbH
Graz

Österreich

Smartbow GmbH
Weibern

Österreich

Kompetenznetzwerk Digitale Landwirtschaft Bayern

Der Impulsgeber und Begleiter der digitalen Transformation in der Landwirtschaft.

Begrenzung des Klimawandels und Anpassung an seine Auswirkungen, Steigerung des Tierwohls, Erhalt der Biodiversität, Erzeugung hochwertiger Lebensmittel mit transparenter Herkunft und nachvollziehbaren Produktionsbedingungen: Die Landwirtschaft des 21. Jahrhunderts steht vor vielen Herausforderungen. Betroffen davon ist die gesamte landwirtschaftliche Wertschöpfungskette. Chancen für zielgerichtete und nachhaltige Lösungen bietet vor allem auch die Digitalisierung.

Um die durch bäuerliche Familienbetriebe geprägte bayerische Landwirtschaft in ihrer Vielfalt zu sichern, weiterhin wettbewerbsfähig aufzustellen und für die Gesellschaft akzeptabel zu halten, ist es wichtig, die Möglichkeiten neuer Technologien zu kennen und bestmöglich umzusetzen. Vertikaler und horizontaler Austausch und Kooperationen zwischen Wirtschaft, Wissenschaft, Verbänden und staatlichen Stellen, auch über die Agrarbranche und den Freistaat hinaus bieten das Potential für Synergien und Innovationen als zentrale Bausteine einer zukunftsfähigen Landwirtschaft.

Genau an dieser Stelle setzt das Kompetenznetzwerk Digitale Landwirtschaft Bayern, eine Initiative des Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten an. Als offenes Netzwerk von Interessierten zu aktuellen Themen und Impulsgeber für Entscheidungsträger in Agrarbranche und Politik. Damit sollen Markt- und Technologietrends frühzeitig erkannt, Handlungsbedarfe aufgedeckt und kommuniziert sowie Entwicklungen analysiert und Konsequenzen aufgezeigt werden.

Entscheidend hierbei ist eine aktive und diverse Community, die von Austausch, Input und Aktionen lebt. Digital und analog.

Das Kompetenznetzwerk Digitale Landwirtschaft Bayern führt Workshops, Innovationswettbewerbe, Hackathons, Studien, Thesenpapiere, Podcasts, konkrete Umsetzungsprojekte, u. v. m. durch.

Werden auch sie ein Teil dieses kreativen “Ökosystems“ für Forschung, Technologie und Innovation. Vernetzten und unterstützen Sie sich interdisziplinär, tauschen Sie sich mit verschiedenen Akteuren der digitalen Landwirtschaft aus und gestalten sie die zukünftige Landwirtschaft in unserem Netzwerk mit!

bayern innovativ
Innovation leben.

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

ATB

Leibniz-Institut für
Agrartechnik und Bioökonomie

Das ATB ist Pionier und Treiber der Bioökonomieforschung.
Wir schaffen wissenschaftliche Grundlagen, um bioökonomische Produktionssysteme wissensbasiert, differenziert und weitgehend automatisiert zu steuern.

Wir forschen im Dialog mit Gesellschaft, Wirtschaft und Politik – erkenntnismotiviert und anwendungsinspiriert.

Forschungsprogramme:

- **Präzisionslandwirtschaft in Pflanzenbau und Tierhaltung**
- **Qualität und Sicherheit von Lebens- und Futtermitteln**
- **Stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse.**

atb-potsdam.de

atb-digitalfieldlab.de

NEXT Farming

Damit die Welt der Landwirte
leichter wird.

Mehr Infos
unter:
nextfarming.de

Unsere Softwarelösungen, ergänzende Produkte
und Dienstleistungen stehen für eine partnerschaftliche
Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft. Unser Ziel ist
es, Landwirten eine sichere Zukunft zu ermöglichen.

nextfarming.de

smatrix
by dawin
the future of mobile data collection
Hände und Augen frei für das
Wesentliche.
smatrix ist die erste Sprachassistenzsoftware zur Datenerfassung via Stimme.
Für ausführliche Informationen chatten Sie mit unseren Experten bei der Tagung.
Wir freuen uns auf Sie!
GET IT ON
Google Play
Intuitiv. Sicher. Effizient.
smatrix.systems | in

RICHTUNGSWEISENDE
DIGITALE LANDWIRTSCHAFT
Mit den John Deere Technologien für die
Präzisionslandwirtschaft setzen Sie ganz neue Maßstäbe
für Ihren landwirtschaftlichen Betrieb. Heute, morgen
und auch übermorgen.
JOHN DEERE
NOTHING RUNS LIKE A DEERE

METOS®
Pessl
INSTRUMENTS
LÖSUNGEN FÜR
INTELLIGENTERE
LANDWIRTSCHAFT
Fortschrittliche Geräte zur Fernüberwachung Ihrer Felder
und Software zur Entscheidungsünterstützung um all Ihre
Feldaktivitäten besser planen und optimieren zu können.
WWW.METOS.AT
+43 3172 55 21
office@metos.at

SATELLITEN/
WETTER
TIERHALTUNG
LAGER &
LOGISTIK
FUHRPARK &
AUTOMATISIERUNG
PFLANZENBAU
BÜRO
LEBENSMITTEL-
PRODUKTION
VERNETZEN
mit standardisierten
Schnittstellen
Helfen Sie dabei,
diese Vernetzung
durch Normung zu
realisieren.
DIN
Ihr Ansprechpartner:
Johannes Lehmann
Leiter Geschäftsfeldent-
wicklung Smart Farming,
DIN e.V.
johannes.lehmann@din.de

Programmkomitee

Dr. Thomas Anken	Agroscope, Tänikon, Schweiz
Dr. Norbert Barta	Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich
Prof. Dr. Heinz Bernhardt	Technische Universität München, Freising
Prof. Dr. Ralf Bloch	HNE Eberswalde
Karsten Borchard	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Prof. Dr. Michael Clasen	Hochschule Hannover
Dr. Marianne Cockburn	Agroscope, Ettenhausen, Schweiz
Dr. Georg Fröhlich	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
Prof. Dr. Hans W. Griepentrog	Universität Hohenheim
Prof. Dr. Dirk Hinrichs	Universität Kassel
Constanze Hofacker	act GmbH, Kiel
Dr. Dieter von Hörsten	JKI, Braunschweig
Prof. Dr. Wolfgang Lentz	Hochschule für Technik u. Wirtschaft Dresden
Daniel Martini	KTBL, Darmstadt
Dr. Susanne Otter-Nacke	Claas E-Systems GmbH, Dissen a. T.W.
Prof. Dr. Guido Recke	Hochschule Osnabrück
Prof. Dr. Arno Ruckelshausen	Hochschule Osnabrück

Organisationsteam

PD Dr. Andreas Meyer-Aurich	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Potsdam
Prof. Dr. S. Bellingrath-Kimura	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Müncheberg
Prof. Dr. Cornelia Weltzien	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Potsdam
Nina Schwab	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Potsdam
PD Dr. Markus Gandorfer	1. GIL-Vorsitzender, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising
Dr. Christa Hoffmann	2. GIL-Vorsitzende, oeconos GmbH, Dettingen
Helga Floto	GIL-Geschäftsführerin, Esslingen

Referate

Sven Belau, Cornelia Weltzien, Arno Ruckelshausen
Hyperspektrale Betrachtung von Maispflanzen für die Entwicklung eines optischen Siebverfahrens *25*

Jessica Berkes, Carla Ollier, Marc Boelhauve, Marcus Mergenthaler
Online-Lehre in Krisenzeiten für Studierende der Agrarwirtschaft – eine Sondierungsstichprobe *31*

Ansgar Bernardi, Sandra Becker, Carsten Struve, Thomas Bund, Sebastian Linsner, Christian Reuter, Georg Müller
Erfolgsorientierte Dienstleistung: neue Perspektiven für die landwirtschaftliche Arbeitsteilung durch hybride Dienstleistungen *37*

Julia B. Block, Marius Michels, Oliver Mußhoff
Digitale Risikomanagementtools in der Landwirtschaft – Status quo und Anforderungen *43*

Reiner Brunsch
Vertrauenswürdigkeit von Anwendungen der Künstlichen Intelligenz – Konsequenzen für den Agrarsektor *49*

Gesa Busch, Aurelia Schütz, Elisa Bayer, Achim Spiller
Veränderungen des Einkaufsverhaltens bei Lebensmitteln während der Corona-Pandemie. Eine Chance für den Online-Handel? *55*

Michael Clasen
Über den Wert von Daten in der Landwirtschaft
Meine Daten gehören mir! Aber was sind sie eigentlich wert? *61*

Marianne Cockburn
Can algorithms help us manage dairy cows? *67*

Katharina Dahlhoff, Astrid van Asten, Naemi von Jasmund, Lisa-Marie Schmidt, Felix Austermann, Wolfgang Büscher
Entwicklung eines digitalen Tierwohl-Indikator-basierten Beratungstools für die Mastschweinehaltung - PigsAndMore *73*

Daniel Eberz-Eder, Franz Kuntke, Wolfgang Schneider, Christian Reuter
Technologische Umsetzung des Resilient Smart Farming (RSF) durch den Einsatz von Edge Computing *79*

Christiane Engels, Wolfgang Büscher
Extraktion von Bewegungsparametern aus Positionsdaten von Milchkühen *85*

Jochen Fiedler, Michael Burger
Datenanalyse, statistische Methoden und Ensemble-Postprocessing zur Entscheidungsunterstützung bei der Feldbearbeitung *91*

Santiago Focke Martinez, Thomas Wiemann, Joachim Hertzberg
Overview of a route-planning tool for capacitated field processes in arable farming *97*

Andreas Gabriel, Markus Gandorfer
Wer nutzt was? Entwicklung eines dynamischen Tools zur Erstellung von Nutzerprofilen bei digitalen Technologien in der Landwirtschaft *103*

David Gackstetter, Mandana Moshrefzadeh, Thomas Machl, Thomas H. Kolbe
Smart Rural Areas Data Infrastructure (SRADI) – an information logistics framework for digital agriculture based on open standards..... *109*

Julia Gitzel, Jürgen Schwarz
Pflanzenschutzmitteleinsparung durch boniturgestützte Applikationskarten – BoniPS *115*

Mosab Halwani, Johann Bachinger
Using four data mining techniques to predict grain yield response of winter wheat under organic farming system *121*

Veronika Hannus, Thomas H. Kolbe
Towards a common understanding of digital transformation in agriculture. Bibliographic analysis and illustration of research topics *127*

Josef Hauser, Franz-Xaver Maidl, Peter Wagner
Untersuchung der teilflächenspezifischen Ertragserfassung von Großmähdreschern in Winterweizen..... *133*

Jens Henningsen, Christof Schroth
Herausforderungen für eine vereinfachte digitale Dokumentation und Optimierung von Nährstoffkreisläufen am Beispiel eines Milchviehbetriebs *139*

Saskia Hohagen, Uta Wilkens, Lukas Zaghow
Digitalisierung in der Landwirtschaft – Resilienz der Entwicklung aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive *145*

Michael Horf, Robin Gebbers, Max-Frederik Piepel, Hans-Werner Olfs
Schnelle Nährstoffanalyse von Gülle und Gärresten mittels diffuser Reflexions-Spektroskopie..... *151*

Seyed-Ali Hosseini-Yekani, Peter Zander
A mathematical model to quantitatively calculate the trade-offs between ESs within a DSS *157*

Julius Kirfel, Stefan Hinck, Juliane Renner, Arshnoor Singh, Peter Steinbach, Arno Ruckelshausen
Motivation und Konzept zur boden- und luftgestützten Detektion von Virosen in der Pflanzgutproduktion von Stärkekartoffeln *163*

Benjamin Kisliuk, Mark Höllmann, Christoph Tieben, Jan Christoph Krause, Alexander Mock, Sebastian Pütz, Felix Igelbrink, Thomas Wiemann, Santiago Focke Martinez, Stefan Stiene, Joachim Hertzberg
Erste Schritte zu einer kontextsensitiven Navigation in einem langzeitautonomen Field-Monitoring-System *169*

Stefan Kopfinger, Beat Vinzent
Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters *175*

Miriam Kramer, Vivien Reinhold, Caroline Firmenich, Laura Schmitz, Nicole Tücking, Larissa Verfürth, Marc Boelhauve, Marcus Mergenthaler
Wahrgenommene und tatsächliche Nutzungsintensität von integrierten Smartphone-Applikationen für das Herdenmanagement auf rinderhaltenden Betrieben *181*

Jorrit Kühl, Yves Reckleben, Holger Schulze
Smart-Farming-Technologien auf Ackerbaubetrieben – wie beurteilen Landwirte den Weg zur „Landwirtschaft 4.0“ *187*

Franz Kuntke, Marcel Sinn, Sebastian Linsner, Christian Reuter
Low Power Wide Area Networks (LPWAN) für krisentaugliche Datenübertragung in landwirtschaftlichen Betrieben *193*

Marvin Melzer, Sonoko Bellingrath-Kimura
GIS-gestützte Modellierung von Ökosystemleistungen – Status quo, Potenziale und Trade-offs *199*

Andreas Meyer-Aurich, Hans-Peter Piepho, Yusuf Nadi Karatay, Uwe Hunstock
Entwicklung eines einfachen Ansatzes zur Schätzung ökonomisch optimaler Stickstoffdüngemengen auf der Basis von Feldversuchsdaten *205*

Marius Michels, Vanessa Bonke, Oliver Mußhoff
Timing of Smartphone Adoption in German Agriculture – Who are the Early Adopters *211*

Martin Mittermayer, Johannes Schuster, Ludwig Nätscher, Franz-Xaver Maidl, Kurt-Jürgen Hülsbergen
Teilflächenspezifische N-Bilanzen auf Ackerschlägen – Einfluss von Bodenheterogenität und Methoden der Ertragserfassung 217

Viktoria Motsch, Lukas Hauser, Julia Schuster, Alexander Bauer, Thomas Bauer, Mathias Brunner, Norbert Barta, Andreas Gronauer
Dissemination of precision farming technologies in Austria in the context of energy savings potential 223

Nils Niemann, Christoph Tieben, Kai Lingemann, Joachim Hertzberg
Wissensverarbeitung in der Landwirtschaft mit regelbasierten Inferenzsystemen und Begründungsverwaltung 229

Frank Nordemann, Anas Bin Muslim, Ralf Tönjes
Mit Highspeed auf das Feld – Ethernet auf Landmaschinen 235

Burawich Pamornnak, Christian Scholz, Dominik Nieberg, Matthias Igelbrink, Arno Ruckelshausen
Field plant characterization method based on a multi-wavelength line profiling system 241

Johanna Pfeiffer, Andreas Gabriel, Markus Gandorfer
Klein gegen Groß – Vergleich von klein- und großstrukturierten Agrarregionen beim Einsatz digitaler Technologien 247

Thomas Rahimi, Regina Roessler, Stefanie Klingel, Dirk Hinrichs
Simulation von Phänotypen mittels optimierender linearer Modelle 253

Guido Recke, Tobias Jorissen, Martin Schnare, Silke Becker
Teilflächenspezifische Düngung im Getreide unter den Anforderungen der neuen Düngeverordnung – Wirtschaftliche Potenziale in Verbindung mit Farmmanagementansätzen 259

David Reiser, Jonas Straub, Hans W. Griepentrog
Autonomer Baumschnitt in Streuobstwiesen 265

Tobias Reuter, Konstantin Nahrstedt, Lucas Wittstruck, Thomas Jarmer, Insa Kühling, Dieter Trautz
Erfassung von Bestandsheterogenität im Kleegras mithilfe von drohnengestützten RGB- und Multispektraldaten 271

Sören Schulte-Ostermann, Peter Wagner
Reduktion negativer Umwelteffekte mit Hilfe einer teilflächenspezifischen Phosphordüngung 277

Johannes Schuster, Martin Mittermayer, Ludwig Nätscher, Franz-Xaver Maidl, Kurt-Jürgen Hülsbergen
Analyse der teilflächenspezifischen Nitratauswaschungspotenziale auf Ackerschlägen 283

Redmond R. Shamshiri, Cornelia Weltzien
Development and field evaluation of a multichannel LoRa sensor for IoT monitoring in berry orchards 289

Olivia Spykman, Agnes Emberger-Klein, Andreas Gabriel, Markus Gandorfer
Feldroboter aus Sicht der Gesellschaft – Auswertung eines Discrete Choice Experiments 295

Matthias Stettmer, Maximilian Treiber, Valentin Heizinger, Heinz Bernhardt
Einfluss von schlagformspezifisch geplanten Befahrungsstrategien auf die Wendezeiten in der Bodenbearbeitung 301

Wolfram Strothmann, Christian Scholz, Burawich Pamornnak, Arno Ruckelshausen
Von der Forschung in die Praxis: das KI-basierte optisch-selektive mechanische Beikrautregulierungssystem MWLP-Weeder in verschiedenen Trägersystemen im Feldeinsatz 307

Georg Supper, Christian Aschauer, Andreas Gronauer, Norbert Barta
Localisation and navigation of a robot platform using laser scanner and Adaptive Monte Carlo Localisation (AMCL) for an indoor horticultural application 313

Holger D. Thiele, Jonas Peltner
Digitale börsenbasierte Festpreissysteme: neue Entwicklungen in der EU-Milchwirtschaft 319

Larissa Verfürth, Caroline Firmenich, Miriam Kramer, Laura Schmitz, Nicole Tücking, Marcus Mergenthaler, Marc Boelhauve
Einflüsse auf den Adoptionserfolg von integrierten Herdenmanagement-programmen auf rinderhaltenden Betrieben 325

Philipp Viertel, Matthias König
Deep Learning in palynology 331

Thainná Waldburger, Marianne Cockburn, Philippe Monney, Thomas Anken
Dendrometers reflect physiological growth, leaf flushing cycles and water stress levels of cocoa trees 337

Peter Wißkirchen, Friederike K. Warns, Katharina Dahlhoff, Carina Goretzky, Timo Brune, Fouad Bitti, Harald Mathis, Astrid van Asten
Früherkennung von Schwanzbeißen bei Schweinen auf der Basis von Deep Learning *343*

Lucas Wittstruck, Tobias Reuter, Konstantin Nahrstedt, Dieter Trautz, Insa Kühling, Thomas Jarmer
Unterscheidung von Mais- und Beikrautpflanzen unter Anwendung von multispektralen UAV-Bilddaten zur teilflächenspezifischen Beikrautregulierung *349*

Referate – Forschungsbereich Digitale Experimentierfelder

Johanna Ahmann, Kathrin Asseburg, Kristina Höse, Natalia Kluth, Heiko Neeland, Dirk Plettemeier, Martin Wagner, Wolfgang Büscher
Assistenzsysteme für eine intelligente Rinderhaltung
Experimentierfeld CattleHub *355*

Bernhard Bauer, Kevin Braun, Peter Breunig, Andreas Fleischmann, Tobias Meyer, Patrick Noack, Muhammad Asif Saeed, Rolf Wilmes
Digitalisierung anwenden, bewerten und kommunizieren
Experimentierfeld Diabek *361*

Daniel Eberz-Eder, Maren Kraus, Jannis Menne, Lea Wintz
Förderung des branchenübergreifenden und überbetrieblichen Datenmanagements zur Unterstützung landwirtschaftlicher Wertschöpfungssysteme
Experimentierfeld Südwest *367*

Norman Franchi, Thomas Welsch, Benjamin Striller, Frank Heisig, Gerhard Fettweis
Mobilfunk-Campusnetze für die Landwirtschaft - Dezentrale intelligente Vernetzungssysteme
Experimentierfeld LANDNETZ *373*

Hans W. Griepentrog, Enno Bahrs, Markus Frank, Uta Dickhöfer, Dirk Winter
Anwendungen innerhalb digitaler Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft
Experimentierfeld DiWenkLa *379*

Rainer Keicher, Bianca Rauber, Hans-Peter Schwarz, David Brunner
Digitalisierung im Weinbau und Ackerbau unter Nutzung von Multikoptern, vernetzter Sensorik und satellitengestützten Kommunikationskanälen
Experimentierfeld DIWAKOPTER *385*

Marc-Alexander Lieboldt, Stefan Sagkob, Jan Reinkensmeier, Jorge Marx Gómez, Philipp Hölscher, Nicole Kemper, Imke Traulsen, Harm Drücker, Ludwig Diekmann
Entwicklung eines sensorbasierten Frühwarn- und Entscheidungshilfesystems für die Schweinehaltung
Experimentierfeld DigiSchwein *391*

Isabella Lorenzini, Manuel Boppel, Franz Worek, Stefan Beckmann, Jernej Poteko, Sophia Sauter, Fabian Lichti, Stefan Thurner, Martin Schäffler, Jan Harms, Bernhard Haidn
Digitalisierung in der Prozesskette Milcherzeugung
Experimentierfeld DigiMilch *397*

Yves Reckleben, Jan Henrik Ferdinand
Betriebsleitung und Stoffstrommanagement – Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein
Experimentierfeld BeSt-SH *403*

Ingolf Römer, Martin Schieck, Hannes Mollenhauer, Rikard Graß, Silvia Krug, Juliane Welz, Valentin Knitsch
EXPerimentierfeld zur datengetRiebenen VErnetzung und DigitaliSierung in der LandwirtSchaft
Experimentierfeld EXPRESS..... *409*

Daniel Spengler, Sarah Asam, Falk Boettcher, Erik Borg, Eike Stefan Dobers, Ursula Geßner, Katharina Harfenmeister, Christian Hüttich, Friederike Klan, Mike Teucher, Sina Truckenbrodt, Christopher Conrad
Einsatz von Fernerkundungstechnologien für die Digitalisierung im Pflanzenbau
Experimentierfeld AgriSens – DEMMIN 4.0..... *415*

Hyperspektrale Betrachtung von Maispflanzen für die Entwicklung eines optischen Siebverfahrens

Vorstellung und Diskussion unterschiedlicher Methoden

Sven Belau [1], Cornelia Weltzien[2] und Arno Ruckelshausen[3]

Abstract: Die qualitätsrelevanten Parameter von Maissilage sollen über ein optisches Siebverfahren bestimmt werden. Mit einer hyperspektralen Kamera werden im spektralen Bereich von etwa 950 nm bis 1700 nm Eigenschaften untersucht, welche zur Unterscheidung von Inhaltsstoffen verwendet werden können und anschließend zur optischen Separierung von Kornfragmenten von der Restpflanze. Es werden drei unterschiedliche Verfahren genutzt und diskutiert. Zum einen wird ein Ansatz basierend auf klassischer Bildverarbeitung verwendet, welcher einen normierten Differenzindex auf Grundlage von zuvor ermittelten Farbkanälen nutzt, des Weiteren wird ein Ansatz über maschinelles Lernen auf Grundlage einer Merkmalsauswahl über eine Hauptkomponentenanalyse verwendet und zuletzt ein Ansatz über eine Merkmalsbestimmung über eine Betrachtung der Histogramme der Intensitätswerte der jeweiligen Wellenlängen. Dabei zeigt der letzte Ansatz die besten Ergebnisse. Eine optische Siebung von getrockneter Maissilage ist zuverlässig möglich, frische Maissilage ist mit keinem dieser Ansätze zuverlässig optisch siebbar.

Keywords: Hauptkomponentenanalyse, Hyperspektrale Bildgebung, KNN, Machine Learning, Maissilage, Normalized Difference Index, Wellenlängenauswahl

1 Einleitung

Für die Bestimmung von qualitätsrelevanten Parametern der Maissilage bei der Tierfütterung werden aktuell manuelle oder mechanische Siebverfahren eingesetzt. Diese Siebverfahren sind zeitaufwändig und durch die fehlende Reproduzierbarkeit ungenau. Als Indikator für die Qualität der Maissilage dient unter anderem der Kornaufbereitungsgrad der in der Silage enthaltenen Maiskörner [Me05]. Um diese Größe in geeigneter Weise zu bestimmen, werden bisher Separationsverfahren verwendet, die entweder einen hohen Zeitaufwand oder einen hohen technischen Aufwand mit sich bringen. Um die bisherigen Praktiken zur Separation der unterschiedlichen Bestandteile

[1] Hochschule Osnabrück, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Sedanstraße 26, 49076 Osnabrück, s.belau@hs-osnabrueck.de, https://orcid.org/0000-0000-0000-0000
[2] TU Belin, Fachgebiet Agromechatronik, Straße des 17. Juni 144, 10623 Berlin / ATB Potsdam, Technik im Pflanzenbau, Max-Eyth-Alle 100, 14469 Potsdam, CWeltzien@atb-potsdam.de
[3] Hochschule Osnabrück, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Sedanstraße 26, 49076, A.Ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

der Maissilage und eine anschließende Bestimmung der Größenverteilung der Kornfragmente zu vereinfachen, wird ein hyperspektraler Ansatz zur Identifikation von Kornfragmenten und einer anschließenden Partikelgrößenbestimmung verfolgt. Hierfür werden zunächst die spektralen Eigenschaften, die Absorptionsspektren der Inhaltsstoffe, der unterschiedlichen Fraktionen ermittelt. Dabei konzentriert sich die Maisstärke in den einzelnen Körnern, das gebundene Wasser befindet sich hauptsächlich in der Restpflanze [JFW93]. Diese Inhaltsstoffe werden zur spektralen Unterscheidung hinzugezogen und örtlich getrennt den Einzelpartikeln zugewiesen. Zur Identifikation der einzelnen Kornfragmente und der Größenbestimmung werden drei unterschiedliche Ansätze vorgestellt und diskutiert.

2 Material und Methoden

Für die Datenaufnahme wurde das bildgebende Spektrometer Helios Core NIR der Firma EVK DI Kerschhaggl GmbH verwendet. Diese Kamera ist wegen des verbauten Kamera-Chips aus InGaAs sensitiv für Wellenlängen im Bereich von etwa 950 nm bis 1700 nm. Diese Zeilenkamera liefert so über eine Bildbreite von 240 Pixeln 252 unterschiedliche Spektralkanäle, welche durch das sogenannte „Push-Broom“-Prinzip örtlich aufgelöste Bilder mit einer Länge von 720 Pixeln in dreidimensionale Arrays bzw. Hypercubes (720 x 240 x 252) schreibt. Neben der Kamera besteht der Messaufbau aus einer Belichtungseinheit mit zwei Halogenstrahlern, welche breitbandiges Licht, unter anderem im gewünschten NIR-Bereich, emittiert. Mit diesem Messaufbau werden nun sechs unterschiedliche Probenklassen vermessen. Hierzu gehören aus frischer Maissilage (Trockensubstanzanteil von ca. 35 %) separierte Maiskornpartikel, getrocknete Maiskornpartikel, die pflanzlichen Restpartikel der frischen Maissilage, die getrockneten Pflanzenpartikel sowie frische Maissilagen und getrocknete Maissilagen. Insgesamt wurden 72 Bilder aufgenommen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Bestimmung eines normierten Differenz-Index auf Grundlage von charakteristischen Wellenlängen

Zur Identifikation von Wellenlängen, welche charakteristisch für Inhaltsstoffe der jeweiligen Probenklassen sind, werden unterschiedliche Ansätze gewählt. Zum einen werden die Reflexionsspektren der Kornbestandteile KB und der Restpflanze NKB aus den Mittelwertspektren der jeweiligen Hypercubes der frischen Maissilage bestimmt (Abb. 1a). Hierfür werden die gemessenen Reflexionswerte jeder Wellenlänge pixelweise betrachtet und die daraus entstehenden Spektren für die Kornfraktion und die Pflanzenfraktion über den Mittelwert zusammengefasst. Bei der Betrachtung des Betrags

der Differenz dieser Reflexionsspektren (Abb. 1b) fallen die Wellenlängenbereiche um 1220 nm und 1450 nm auf, welche sich mit den in der Literatur identifizierten charakteristischen Absorptionsspektren für Wasser und Stärke bzw. der OH-Bänder decken [Se19, Us04].

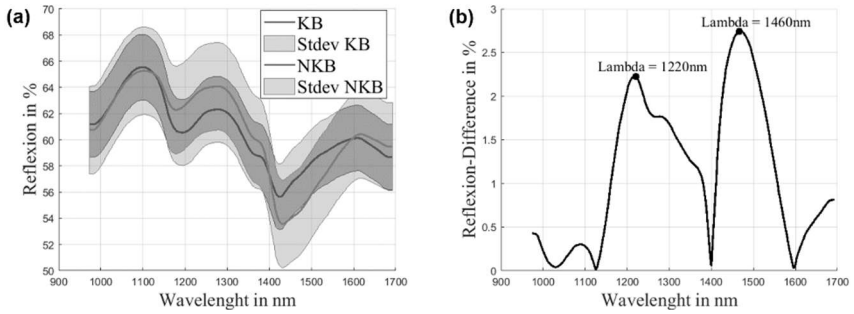


Abb. 1: a) Mittelwertspektren der KB- und NKB-Fraktion (frische Maissilage); b) Betrag der Differenz der Mittelwertspektren der KB- und NKB-Fraktion (frische Maissilage)

Parallel wurde auf Grundlage aller Spektren eine Hauptkomponentenanalyse PCA durchgeführt. Dafür wurden alle Einzelspektren der Kornfraktion und der Pflanzenfraktion verwendet. Bei einer Cluster-Bildung der ersten drei Hauptkomponenten ist eine eingeschränkte Trennung beider Fraktionen vor allem über die dritte Hauptkomponente zu beobachten (Abb. 2a). Werden diese Komponenten über die Wellenlänge aufgetragen (Abb. 2b), so fallen die Extremwerte der dritten Hauptkomponente PC3 ebenfalls im Wellenlängenbereich um 1220 nm und 1460 nm auf. Diese sind als signifikante Wellenlängen für die Separierung dieser Fraktionen zu interpretieren, was sich mit den Ergebnissen der vorherigen Methoden deckt.

Werden nun diese beiden Wellenlängen verwendet, um einen normierten Differenzindex zu ermitteln, so lassen sich normierte Differenzbilder der Maissilage erzeugen. Aus der frischen Maissilage ist eine Extraktion der KB-Fraktion über dieses Verfahren nicht möglich, da sich die OH-Bande um 1450 nm eindeutig dominant im Gegensatz zu der OH-Bande bei 1220 nm verhält. Bei einer getrockneten Maissilage entfällt der dominante Einfluss des Wassers und die einzelnen Kornpartikel werden sichtbar. Mit einem gewählten Threshold von 25 % der maximalen Intensität werden so einzelne Kornpartikel sichtbar und detektierbar (Abb.4 a).

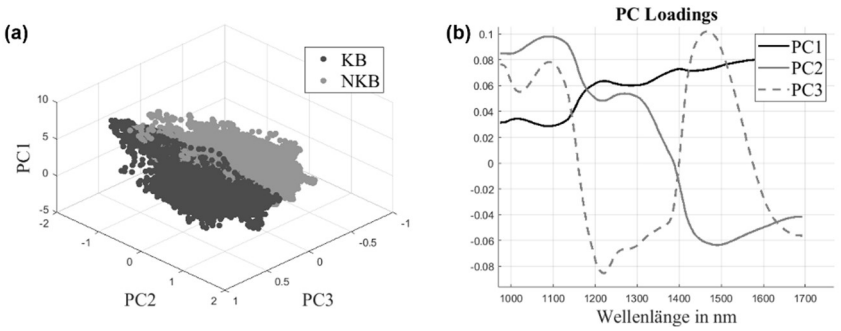


Abb. 2: a) Hauptkomponenten PC1 bis PC3 der KB- und NKB-Fraktion; b) PC Loadings der Hauptkomponenten PC1 bis PC3

3.2 Bestimmung der Kornpartikel mittels Machine Learning auf durch eine PCA ermittelte Spektren

Die Wellenlängenauswahl mittels PCA wird nun verwendet, um Graustufenbilder der jeweiligen Proben zu erzeugen. Aus den so reduzierten Hypercubes der KB- und der NKB-Fraktion wird nun ein Trainingsdatensatz für eine „k-Nearest Neighbor“ (KNN) Klassifikation erstellt. Dafür wurden die verwendeten Hypercubes entsprechend zugeschnitten und manuell mit dem Label „KB“ oder „NKB“ versehen. Für die Klassifikation eines Datenpunktes werden dabei die fünf Nachbarwerte und deren euklidischer Abstand zu dem zu klassifizierenden Punkt einbezogen. Ist dieser Abstand minimal, so wird der Datenpunkt der Klasse zugewiesen, der die Mehrzahl der Nachbarwerte angehört. Über dieses Verfahren werden 94,17 % der als KB markierten Datenpunkte auch korrekt klassifiziert, ebenso sind 94,64 % der NKB-Datenpunkte korrekt klassifiziert worden. Eine Visualisierung dieses Modells zeigt allerdings eine Ununterscheidbarkeit für feuchte Proben und eine unzureichende Abgrenzung für trockene Proben (Abb. 4b).

3.3 Bestimmung der Kornpartikel mittels Machine Learning auf aus Histogrammen ermittelte Spektren

Als Verfahren zur Auswahl geeigneter Wellenlängen werden nun Histogramme für die Auftrittshäufigkeit von Intensitäten für jede Wellenlänge jeweils für alle Pixel der KB- und NKB-Fraktionen erstellt. In Abbildung 3 sind exemplarisch die Histogramme beider Fraktionen für die Wellenlängen 1220 nm und 1460 nm zu sehen. Daraus wird ebenfalls deutlich, dass der Wellenlängenbereich um 1460 nm nicht optimal für die Separation beider Fraktionen ist, da eine hohe Überlappung der Intensitätswerte beider Fraktionen auftritt. Ziel ist deshalb die Identifikation von Wellenlängen, bei der diese Überlappung möglichst gering ausfällt. Hierfür werden nun die Überlappungsflächen der Histogramme

für die KB- und die NKB-Fraktion für jede Wellenlänge bestimmt. Aus diesen Betrachtungen zeichnen sich die Wellenlängen 1210 nm, 1240 nm, 1390 nm, 1630 nm und 1690 nm als besonders geeignet aus.

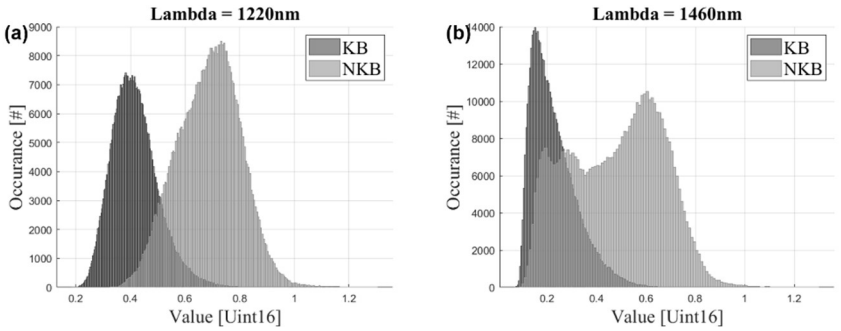


Abb. 3: Intensitätsverteilung der einzelnen Bildpunkte für KB- und NKB-Proben bei a) 1220 nm; b) 1460 nm

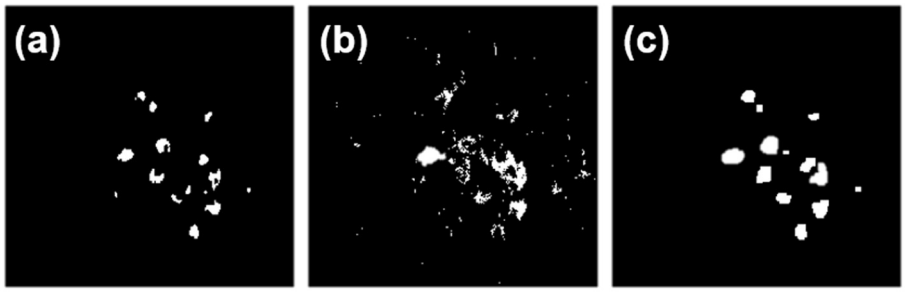


Abb. 4: Visualisierung einer getrockneten Maissilage nach a) Bestimmung eines normierten Differenzindexes; b) einer KNN-Klassifikation mittels PCA-Features; c) einer KNN-Klassifikation mittels Features einer Intensitätsbetrachtung

Analog zu Methode 2 wird nun eine KNN-Klassifikation auf Grundlage der bestimmten Wellenlängenbereiche trainiert. Eine Verwendung weiterer Wellenlängen führte zu keiner signifikanten Erhöhung der Klassifikationsgenauigkeit. In diesem Klassifikationsmodell werden 98,05 % der als KB markierten Datenpunkte korrekt klassifiziert, sowie 99,06 % der als NKB markierten Datenpunkte. Die Identifikation einzelner Partikel gestaltet sich bei der frischen Probe zwar auch hier als schwierig, ist für die getrocknete Probe allerdings einwandfrei möglich (Abb. 4c). Selbst nah beieinander liegende Partikel werden zuverlässig getrennt und können so mittels Objekterkennung zum einen identifiziert werden und zum anderen ist die Bestimmung einer Größenverteilung und somit einer mittleren Partikelgröße möglich.

4 Schlussfolgerung

Es wurden drei unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Korngrößenverteilung stellvertretend für die Qualitätsanalyse der Maissilage mit Hilfe eines optischen Siebes angewendet. Alle Verfahren zeigen Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von frischer Maissilage, da eine Feature-Auswahl über charakteristische Wellenlängen die Spektralbereiche der OH-Bänder einschließt. In diesen OH-Bändern werden die Wassermoleküle stärker zu Vibrationen angeregt, was zu einer signifikanteren Absorption in diesen Bereichen führt als es für die charakteristischen Stärkeanteile in den Kornfragmenten möglich ist. Gleichzeitig zeigt dies allerdings auch, dass in getrockneten Maissilagen eine Identifikation von Kornfragmenten zuverlässig möglich ist. Bei dem Vergleich der unterschiedlichen Methoden fällt hierbei vor allem der Ansatz über Intensitätsverteilungen der jeweiligen Wellenlängen besonders positiv auf, da hier im Vergleich zur ersten Methode mittels Bildung eines normierten Differenzindexes eine quantifizierbare und präzisere Aussage über die Genauigkeit der Detektion zu treffen ist. Im Vergleich zu der Klassifikation über die Wellenlängenauswahl mittels PCA wird über diesen Ansatz zusätzlich eine geringere Menge an Fehlklassifikationen erzielt, was für eine exakte Bestimmung der Konturen der Kornfragmente sorgt. Mit der hier beschriebenen Auswertemethodik ist es durch die geringe Anzahl der Fehlklassifikationen möglich, einzelne Kornfragmente zu identifizieren und so getrocknete Maissilageproben optisch zu sieben und eine quantitative Aussage über die Aufbereitungsqualität dieser Silage zu treffen. In weiterführenden Versuchen ist eine Plausibilisierung der optischen Siebergebnisse mit herkömmlichen Siebergebnissen durchzuführen sowie eine Optimierung der Eingangsparameter der verwendeten Klassifikation.

Literaturverzeichnis

[JFW93] JEROCH, Heinz; FLACHOWSKY, Gerhard; WEISSBACH, Friedrich (Hg.). Futtermittelkunde. G. Fischer, 1993.

[Me05] MERTENS, David R. Particle size, fragmentation index, and effective fiber: Tools for evaluating the physical attributes of corn silages. In: Proc. Four-State Dairy Nutr. & Mgmt. Conf. MWPS-4SD18. Dubuque, IA. 2005. S. 211-220.

[Se19] SENDIN, Kate, et al. Near infrared hyperspectral imaging for white maize classification according to grading regulations. Food Analytical Methods, 2019, 12. Jg., Nr. 7, S. 1612-1624.

[Us04] USTIN, Susan L. (Hg.). Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring. John Wiley & Sons, 2004.

Online-Lehre in Krisenzeiten für Studierende der Agrarwirtschaft – eine Sondierungsstichprobe

Jessica Berkes[1], Carla Ollier[2], Marc Boelhauve[3] und Marcus Mergenthaler[4]

Abstract: Der Einsatz von digitalen Lehrmethoden gewinnt wachsende Bedeutung in der Agrarbranche. Jedoch ist in Studiengängen mit ausgeprägter Praxisrelevanz fraglich, inwiefern digitale Formate in der Hochschullehre mit landwirtschaftlichem Bezug eingesetzt werden können. In einer Sondierungsstichprobe wurden Studierende der Agrarwirtschaft während der COVID-19-Pandemie befragt, wie sie die Online-Lehre bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit mit der Organisation der Online-Lehre zufrieden ist. Studierende, die in einen landwirtschaftlichen Betrieb eingebunden sind, berichten allerdings über Probleme mit der Internetanbindung. Für die in ländlichen Gegenden lebenden Studierenden ist demnach die Möglichkeit der asynchronen digitalen Lehre zu empfehlen. Zudem ist eine aktive Einbindung der Studierenden in den Online-Vorlesungen wünschenswert.

Keywords: Online-Lehre, Agrarwirtschaft, COVID-19-Pandemie, Praxisbezug, Tierhaltung

1 Einleitung

Der Einsatz von Informationstechnologien in der Online-Bildung gewinnt im „grünen Bereich“ krisenunabhängig an Bedeutung [TS07]. Der Studiengang der Agrarwirtschaft erfordert insbesondere für zukünftige tierhaltende LandwirtInnen eine wissenschaftlich fundierte, praxis- und handlungsorientierte und anschauliche Lehre [GAH04]. In Zeiten der COVID-19-Pandemie kann diese infolge von Maßnahmen zur Eindämmung der Virusausbreitung nur eingeschränkt angeboten werden. Da die Online-Lehre aufgrund bisher fehlender Datenlage für agrarwissenschaftliche Studiengänge nicht als prinzipiell gut oder schlecht bewertet werden kann [Sc18], bleibt offen, inwiefern die Online-Lehre hier in Krisenzeiten eine Alternative zu Präsenzveranstaltungen darstellt und diese Erkenntnisse für die gesamte landwirtschaftliche Branche über die COVID-19-Pandemie hinaus genutzt werden können.

[1] Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, berkes.jessica@fh-swf.de
[2] ollier.carla@fh-swf.de
[3] boelhauve.marc@fh-swf.de
[4] mergenthaler.marcus@fh-swf.de

2 Methode

Die vorliegende Untersuchung ist Teil einer Studie zur aktuellen Situation der Landwirtschaft in der COVID-19-Pandemie. Daten von 91 Studierenden der Fachhochschule Südwestfalen wurden von Juli bis September 2020 am Ende des Sommersemesters erhoben und hier als Sondierungsstichprobe ausgewertet. Die Befragung wurde über Limesurvey programmiert. Die Rekrutierung erfolgte über den internen E-Mail-Verteiler der Studierenden. Fragen wurden in Form von binären Fragen, Statements mit sieben- und fünfstufigen Likert-Skalen und einer offenen Frage gestellt und deskriptiv mit Microsoft Excel bzw. qualitativ-strukturierend ausgewertet. Bivariate Analysen zeigen Häufigkeitsverteilungen in Prozentangaben.

Die Anzahl der Teilnehmenden entspricht ca. 13 % der Gesamtstudierendenzahl. Die hier untersuchte Stichprobe besteht zu 36 % aus Studierenden ohne und 64 % mit Einbindung in einen landwirtschaftlichen Betrieb. Letztere Gruppe besteht aus 69 % TierhalterInnen (Rind, Geflügel, Schwein) und 31 % PflanzenbauerInnen (Ackerbau, Gartenbau inkl. Sonderkulturen). Von dieser Gruppe sind 67 % HofnachfolgerInnen, 23 % Angestellte und 10 % anderweitig in den Betrieb mit eingebunden. Die Studierenden sind zum Zeitpunkt der Befragung im Studiengang „Agrarwirtschaft“ als Bachelor- oder Masterstudierende an der Fachhochschule Südwestfalen am Standort Soest eingeschrieben. Das Durchschnittsalter der Studierenden mit landwirtschaftlichem Hintergrund in der Stichprobe ist 22,6 Jahre, 47 % davon sind weiblich (27 Personen) und 53 % männlich (31 Personen). Die Sondierungsstichprobe ist nicht repräsentativ für die Agrarstudierenden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Grundsätzlich ist knapp die Hälfte der Studierenden der Agrarwirtschaft gut oder sehr gut (47 %) und knapp ein Viertel der Befragten schlecht oder sehr schlecht (24 %) mit der Online-Lehre zurechtgekommen (Wortlaut der Frage: Wie sind Sie in diesem Semester insgesamt mit der Online-Lehre zurechtgekommen?). Die Zufriedenheit mit der Online-Lehre verhält sich sehr ähnlich: Knapp die Hälfte der Agrarstudierenden (46 %) gibt an, eher oder sehr zufrieden mit der Organisation der Online-Lehre im Sommersemester 2020 gewesen zu sein, während 24 % eher oder sehr unzufrieden mit der Organisation waren (Wortlaut der Frage: Wie zufrieden waren Sie mit der Online-Lehre?). Ähnlich verhält sich die prozentuale Verteilung unter Studierenden unterschiedlicher Studiengänge: Hier sind 40 % eher oder voll und ganz zufrieden mit der Umsetzung der digitalen Lehrveranstaltungen, während 30 % eher oder gar nicht zufrieden sind [Lö20].

Anders sieht es hingegen mit der Zufriedenheit der Internetanbindung aus: Während 40 % der Agrarstudierenden eher oder voll und ganz zufrieden mit der Internetanbindung sind, geben 33 % an, eher oder gar nicht zufrieden mit der Internetanbindung zu sein. Hiervon sind Studierende mit betrieblichem Hintergrund deutlich unzufriedener (43 %) über die

Internetanbindung als Studierende ohne betrieblichen Hintergrund (15%) (Abb. 1). Studierende unterschiedlicher Studiengänge bewerten zu 22% ihre Internetanbindung als nicht geeignet für viele Formen digitaler Lehre [Lö20]. Es zeigt sich demnach, dass verstärkt Studierende mit betrieblichem Hintergrund von dem Problem einer unzureichenden Internetanbindung betroffen sind. Jedoch wird eine gute Internetanbindung in Zeiten der COVID-19-Pandemie von 68 % der Studierenden aus verschiedenen Fachrichtungen als wichtig empfunden [Ar20]. Die Verfügbarkeit von Breitbandinternet in Deutschland ist deutlich geringer in ländlichen als in städtischen Gebieten ausgeprägt [BK17] und stellt somit einen Nachteil für die in ländlichen Gegenden lebenden Studierenden während der COVID-19-Pandemie dar [Ar20]. Dies betrifft im Besonderen die in landwirtschaftlichen Betrieben eingebundenen Personen [BM06], die sich in Zeiten der COVID-19-Pandemie einer verstärkten Digitalisierung von Lehrformaten ausgesetzt sehen. Als Lösung bieten sich asynchrone Online-Formate an [He20], die insbesondere für Vorlesungen und Vorträge mit datenintensiveren Videoanteilen wichtig sind [MB20]. Ergänzend geben acht Studierende explizit den Wunsch an, Online-Vorlesungen zur späteren Ansicht als Video aufgezeichnet abrufen zu können. Dies wird auch aus Sicht von Heinke et al. [20] als sinnvoll betrachtet, um so individuelles Zeitmanagement der Studierenden in der Krisensituation zu ermöglichen.

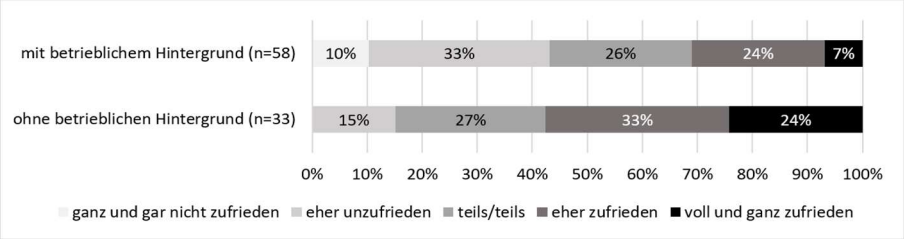


Abb. 1: Prozentuale Verteilung nach Häufigkeit auf die Frage *„Wie zufrieden waren Sie mit der Internetanbindung für die Teilnahme an der Online-Lehre?“* unter Studierenden mit und ohne betrieblichen Hintergrund (n=91)

Die Studierenden der Agrarwirtschaft bevorzugen Präsenzvorlesungen (48 %) gegenüber virtuellen Vorlesungen (41 %) leicht (Abb. 2). Mögliche Gründe für diese zweigeteilte Meinung werden in den Ergebnissen einer Befragung unter Studierenden unterschiedlicher Fachrichtungen angeführt: Bei einem Teil der Studierenden scheinen klar die Vorteile des digitalen Semesters durch die COVID-19-Pandemie wahrgenommen zu werden, wie beispielsweise eine flexiblere Arbeitsgestaltung, keine Anreise zum Studienort oder die Anwendung neuer digitaler Methoden. Andererseits scheinen für einen anderen Teil der Studierenden eher die Nachteile des digitalen Semesters durch die COVID-19-Pandemie zu überwiegen: Kein direkter Kontakt zu anderen, Erhöhung des eigenständigen Lernens oder die schlechtere Vereinbarkeit von familiären Verpflichtungen und Studium [Tr20].

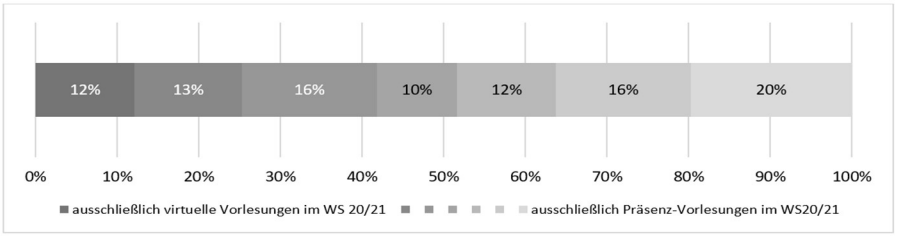


Abb. 2: Präferenz der Studierenden für virtuelle bzw. Präsenzvorlesungen für das Wintersemester 2020/21 (n=91)

Die Befragten wurden daraufhin gebeten, ihre Antwort zu konkretisieren und anzugeben, welche der zum Ende des Sommersemesters möglichen Optionen sie am sinnvollsten fänden (Abb. 3). Hier zeigt sich, dass der überwiegende Teil (46 %) eine Wahlmöglichkeit, ob er an der Präsenz- oder Online-Lehre teilnehmen möchte, favorisiert. Ein Drittel (26 %) findet virtuelle Pflichtvorlesungen und 17 % Kleingruppenarbeit auf dem Campus am sinnvollsten. Gut jeder Zehnte (11 %) ist der Meinung, dass die Präsenzlehre erst wieder stattfinden sollte, wenn Impfungen verfügbar sind.

Digitale, synchron stattfindende Gruppendiskussionen sind nur mit einer Anzahl von max. sechs Personen sinnvoll, bei mehr Teilnehmenden sind eine verstärkte Moderation und Redelisten empfehlenswert [He20]. Sieben Studierende gaben explizit den Wunsch nach einer strukturierteren Aufarbeitung des Lehrmaterials und einer aktiveren Einbindung der Studierenden in den Lehrveranstaltungen an: Es sind Lehreinheiten zu empfehlen, die ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen Selbststudium und Lehrveranstaltungen wiederspiegeln [Ar20] und aktive Aufgaben für die Studierenden beinhalten [He20]. Drei Agrarstudierenden ist zudem eine Vereinheitlichung der Organisation der Online-Lehre wichtig. Ähnliche Anliegen äußern Studierende anderer Fachrichtungen: Transparenz und eine Vereinfachung jedweder formaler Verfahren, die die digitalen Lehrveranstaltungen betreffen, sind wünschenswert [Tr20]. Hier sei darüber hinaus anzumerken, dass bestimmte Inhalte nur sehr bedingt bis gar nicht über die Online-Lehre übersetzbar sind [He20], wie dies z. B. bei Exkursionen und Feldbegehungen der Fall sein kann. Hierzu geben zwei Studierende explizit an, dass sie Feldbegehungen und Exkursionen für unersetzlich halten.

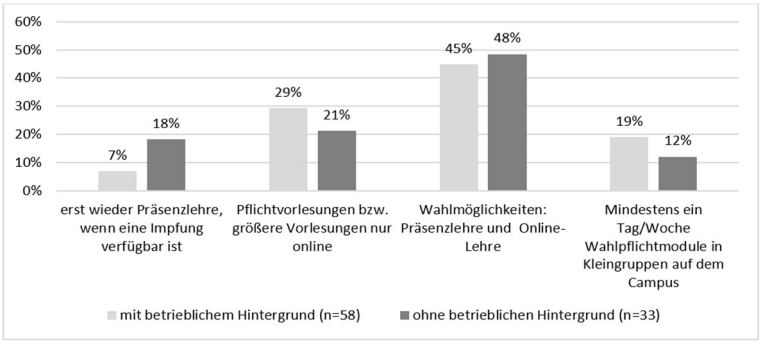


Abb. 3: Prozentuale Verteilung nach Häufigkeit auf die Frage „Was wäre aus Ihrer Sicht am sinnvollsten, um die Durchführung der Lehre in der kommenden Zeit zu gewährleisten?“ unter Studierenden mit und ohne betrieblichen Hintergrund (n=91)

Darüber hinaus empfinden 41 % der Befragten die Ansteckungsgefahr mit SARS-CoV-2 während Vorlesungen und Seminaren als hoch, während diese bei schriftlichen Prüfungen nur von 7 % als eine leichte Gefahr bewertet wird. Diejenigen, die Angst davor haben, durch eigene Infektion risikogefährdete Familienmitglieder zu infizieren, bewerten das Ansteckungsrisiko als höher (46 %) (Abb. 4). Dies kann daran liegen, dass Personen aus der Landwirtschaft meist in Mehrgenerationenhaushalten leben [BOM20] und dadurch eher Kontakt zu Personen mit erhöhtem Krankheitsverlaufsrisiko besteht.

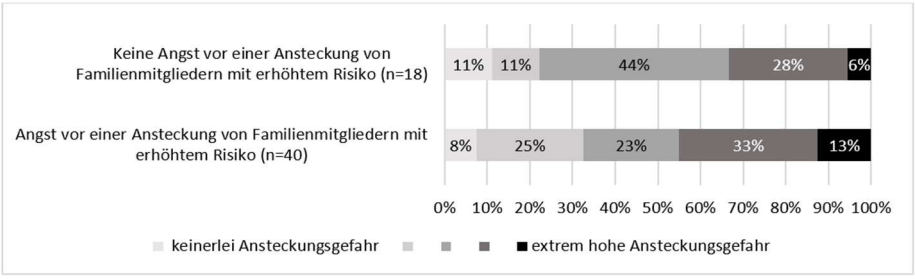


Abb. 4: Wahrnehmung der Ansteckungsgefahr mit SARS-CoV-2 während Vorlesungen/ Tutorien/ Übungen/ Seminaren von Studierenden mit und ohne Angst vor einer Ansteckung von Familienmitgliedern mit erhöhtem Krankheitsverlaufsrisiko (n=58)

4 Fazit

Die Befragungsergebnisse im Abgleich mit ähnlichen Studien zeigen auf, dass die Zufriedenheit mit der Online-Lehre von Studierenden der Agrarwirtschaft und derer anderer Studiengänge ähnlich bewertet wird. Parallelen spiegeln sich auch im Wunsch nach einer Vereinheitlichung der Organisation und Ausführung der Lehre wider. Um den Zugang zur

Lehre auch für im landwirtschaftlichen Betrieb eingebundene Personen sicherzustellen, ist es empfehlenswert, Vorlesungen aufzuzeichnen und asynchron abrufen zu können, da in ländlich gelegenen Regionen in Deutschland kein ausreichendes Breitbandnetz verfügbar ist. Wenn die COVID-19-Pandemie vorbei ist, wird sich zeigen, welche Vorteile der Online-Lehre auch für andere Bildungsangebote dauerhaft Bedeutung behalten.

Literaturverzeichnis

[Ar20] Aristovnik, A., Keržič, D., Ravšelj, D., Tomaževič, N., & Umek, L.: Impacts of the COVID-19 pandemic on life of higher education students: A global perspective. Sustainability, 12(20), 8438. 2020.

[BK17] Berger, S.; Koppel, O: Breitband-Internet: Ländliche Regionen holen zu langsam auf (No. 82.2017). IW-Kurzbericht. 2017.

[BOM20] Berkes, J., Ollier, C., Mergenthaler, M.: Persönliche Betroffenheit der in Deutschland lebenden Landwirte und Landwirtinnen zu Beginn der Corona-Pandemie. Fachhochschule Südwestfalen: Notizen aus der Forschung. Nr. 24 / Juni 2020. 2020.

[BM06] Borchard, K., & Müller, R. A.: Die Breitband-Kluft zwischen Stadt und Land: Ausmaß und Auswirkungen auf Landwirtschaft und ländlichen Raum. Land-und Ernährungswirtschaft im Wandel–Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar- und Umweltinformatik. 2006.

[GAH04] Gerber, A., Arman, B., & Hill, C.: Ausbildung im Ökologischen Landbau. 2004.

[He20] Heinke, Christian; Shnayien, Mary; Sprenger, Florian; Wippich, Uwe: Lehre unter besonderen Bedingungen. Leitfaden zur temporären Umstellung der Lehre auf Online-Formate. 2020.

[Lö20] Lörz, M., Marczuk, A., Zimmer, L., Multrus, F., & Buchholz, S.: Studieren unter Corona-Bedingungen: Studierende bewerten das erste Digitalsemester. (DZHW Brief 5|2020). Hannover: DZHW. https://doi.org/10.34878/2020.05.dzhw_brief. 2020.

[MB20] Meißelbach, C., Bochmann, C.: Wir können hier alle nur dazulernen. Studierendenbefragung zur digitalen Lehre in Zeiten der Corona-Krise. Dresden: Technische Universität Dresden. DOI: 10.13140/RG.2.2.24589.90081. 2020.

[Sc18] Schulmeister, R.: Präsenz und Selbststudium im E-Learning. Indizien für eine besondere Rolle der Präsenz. Digitale Lehrformen für ein studierendenzentriertes und kompetenzorientiertes Studium, 6-26, 2018.

[TS07] Tietze, J., Schmidt, U.: E-Learning am Institut für Gartenbauwissenschaften. 2007.

[Tr20] Traus, A., Höffken, K., Thomas, S., Mangold, K., & Schröer, W.: Stu. diCo.–Studieren digital in Zeiten von Corona. 2020.

Erfolgsorientierte Dienstleistung: neue Perspektiven für die landwirtschaftliche Arbeitsteilung durch hybride Dienstleistungen

Ansgar Bernardi[1], Sandra Becker[2], Carsten Struve[2], Thomas Bund[2], Sebastian Linsner[3], Christian Reuter[3] und Georg Müller[4]

Abstract: Im Projekt HyServ werden landwirtschaftliche Dienstleistungen als Hybrid aus klassischem Arbeitsauftrag und Auftrag zur Datenverarbeitung verstanden, der sowohl den Auftrag als auch das Ergebnis umfasst. Die hybriden Dienstleistungen mit fälschungssicheren Vereinbarungen und technischen Kontrollmöglichkeiten sichern besseres Vertrauen in intensiven Datenaustausch und innovative Produktionsformen in komplexen Kooperationen. Die integrierte Betrachtung von konventionell-physischer Arbeitsleistung und Datenverarbeitung erlaubt neuartige landwirtschaftliche Dienstleistungen: Anstelle der reinen Aktivität kann das Erreichen definierter Ziele vereinbart und nachprüfbar dokumentiert werden. So können auch Ergebnisse, die erst nach längerer Zeit erkennbar werden, in die vereinbarte Leistung einbezogen und erfolgsabhängig entlohnt werden. Derartige erfolgsorientierte Dienstleistungen verbinden Ausführung und Garantieleistungen und eröffnen so gerade in kritischen Zeiten neue Formen der Risikoverteilung und innovativer Geschäftsmodelle.

Keywords: Datenhoheit, fälschungssichere Nachverfolgbarkeit, Smart Contracts, garantierte Zielerreichung, Risikostreuung

1 Einleitung, Motivation und Stand der Technik

Mit zunehmender Digitalisierung technischer Arbeitsmittel wächst die Notwendigkeit intensiven Datenaustauschs zwischen Landwirt und vielfältigen Dienstleistern und weiteren Datenquellen – oft über mehrere Schritte zu verschiedenen Zeitpunkten. Gleichzeitig steigt das Bewusstsein für die Bedeutung der individuellen Datenhoheit des Landwirts und der jeweiligen Dienstleister.

Im Projekt HyServ[5] werden landwirtschaftliche Dienstleistungen als Hybrid aus klassischem Arbeitsauftrag und Auftrag zur Datenverarbeitung verstanden, der sowohl den Auftrag als auch das Ergebnis umfasst. Damit können Vorgaben und Absprachen zum

[1] Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Trippstadter Straße 122, 67663 Kaiserslautern, ansgar.bernardi@dfki.de
[2] John Deere GmbH&Co KG, European Technology Innovation Center, Straßburger Allee 3, D-67657 Kaiserslautern
[3] Technische Universität Darmstadt, PEASEC, Pankratiusstraße 2, 64289 Darmstadt
[4] Maschinenring Rheinhessen-Nahe-Donnersberg, Otto-Lilienthal-Straße 4, 55232 Alzey
[5] Das Forschungsprojekt HyServ wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Umgang mit Daten bei Auftragserteilung detailliert vereinbart und später überprüft werden.

Hybride Dienstleistungen mit fälschungssicheren Vereinbarungen und technischen Kontrollmöglichkeiten sichern Vertrauen in intensiven Datenaustausch und innovative Produktionsformen. Jeder Akteur entlang der Wertschöpfungskette eines landwirtschaftlichen Produkts soll in der Lage sein, die Sichtbarkeit und zweckgebundene Verwertung der eigenen Daten für jede beteiligte Partei zu modellieren und somit eine Form von Verwertungsvertrag zu erzeugen. Die Summe all dieser Vereinbarungen stellt den Datenfluss der gesamten Wertschöpfungskette nachvollziehbar dar, sodass bestimmte Kriterien durch externe Prüfinstanzen validierbar sind, ohne sensible Daten öffentlich einsehbar zu machen.

Die integrierte Betrachtung von konventionell-physischer Arbeitsleistung und Datenverarbeitung erlaubt neuartige landwirtschaftliche Dienstleistungen: Anstelle der reinen Aktivität kann das Erreichen definierter Ziele vereinbart und nachprüfbar dokumentiert werden. So können auch Ergebnisse, die erst nach längerer Zeit erkennbar werden (z. B. ein gewünschter Feldaufgang nach der Aussaat), in die vereinbarte Leistung einbezogen und erfolgsabhängig entlohnt werden. Hierbei werden Rahmenbedingungen (z. B. Wetter oder Fremdeinflüsse) bei Zielvorgaben berücksichtigt und vor, während sowie nach Auftragsausführung mit dokumentiert. Derartige erfolgsorientierte Dienstleistungen verbinden Ausführung und Garantieleistungen und eröffnen so gerade in kritischen Zeiten neue Formen der Risikoverteilung und innovativer Geschäftsmodelle.

1.1 Randbedingungen und Arbeitsteilung in landwirtschaftlichen Prozessen

Im Umfeld ständiger technischer Weiterentwicklungen sind landwirtschaftliche Unternehmen darauf angewiesen, ihre Arbeitsverfahren überbetrieblich und kooperierend zu organisieren. Sowohl bei der Erzeugung qualitativ hochwertiger Lebensmittel als auch beim Natur- und Artenschutz wachsen die Anforderungen stetig. Ungeachtet der jeweiligen Verfahrensbeteiligten tragen landwirtschaftliche Betriebsinhaber in ihren Unternehmen die zentrale Verantwortung.

Die Steuerung von Arbeitsprozessen oder der Nachweis gesetzeskonformer Handlungen, etwa zum Schutz von Natur und Umwelt, führen vermehrt zur Erhebung bzw. automatisierten Aufzeichnung von Daten sowie deren Austausch zwischen den Beteiligten. Landwirtschaftliche Unternehmer sind standortgebunden. Sie verfügen über qualifizierte Kenntnisse der regionalen Produktionsbedingungen und deren natürliche Schwankungen. Die unkontrollierte oder gar willkürliche Verbreitung dieser einzelbetrieblichen Wissensbasis bedient profitable Interessen entlang der gesamten Nahrungskette mit erheblichen Auswirkungen auf Strukturen landwirtschaftlicher Einzelunternehmen. Eine gezielte Weitergabe relevanter Informationen an Prozessbeteiligte sowie der Rückfluss von Erhebungen aus deren Arbeitsbereich an den landwirtschaftlichen Unternehmer ist jedoch für die bereits erwähnte überbetriebliche

Zusammenarbeit unbedingt erforderlich. Im Hinblick auf die Sensibilität der komplexen einzelbetrieblichen Datenstruktur gilt es, die Berechtigung zur Erhebung, Weitergabe und Verwendung einzelbetrieblicher Daten für alle Beteiligten sicher, nachprüfbar und technisch geschützt zu vereinbaren.

1.2 Blockchain-Lösungen: dezentrale sichere Dokumentation

Der Datenaustausch zwischen allen Prozessbeteiligten kann durch gemeinsam nutzbare zentrale Datenbanken effektiv realisiert werden; dies ist jedoch häufig unerwünscht, weil derartige Zentralisierungen unerwünschte Monopole, Single-Point-of-Failure-Problematik und Gefahr zentraler Datensammlungen mit Missbrauchsmöglichkeiten mit sich bringen.

Das Blockchain-Konzept bietet eine willkommene Alternative: Eine Vielzahl untereinander vernetzter Teilnehmer-Knoten realisiert eine dezentrale Speicherstruktur, bei der einzelne Datenblöcke mit kryptographischen Prüfsummen untereinander verkettet sind und die kryptographische Korrektheit von vielen (oder allen) Teilnehmern überwacht und bestätigt wird. Eine nachträgliche Veränderung bzw. unbemerkte Fälschung der gespeicherten Daten ist dadurch praktisch unmöglich. Die Blockchain ermöglicht die dezentrale, ausfallsichere und fälschungssichere Speicherung von Daten; so können Messwerte, Zugriffsrechte, Arbeitsdokumentation oder getroffene Vereinbarungen gespeichert werden.

Öffentliche Blockchains erlauben i.d.R. beliebigen Teilnehmern, am Datenverkehr teilzunehmen, oft ohne dass eine Identifizierung gegenüber anderen erforderlich wäre. Datenspeicherung und kryptographische Sicherung erfolgen dezentral, wobei u.U. komplexe Konsens-Verfahren sicherstellen, dass eine für alle Teilnehmer gültige Wahrheit in der Blockchain dargestellt ist. Die elektronische Währung Bitcoin ist das wohl bekannteste Beispiel einer öffentlichen Blockchain. Im Gegensatz dazu werden private Blockchains von interessierten Organisationen oder Nutzergruppen initiiert und verwaltet. Sind auch die Identitäten der Teilnehmer wenigstens den Verwaltern bekannt, so sprechen wir von kontrollierten Blockchains.

Da für landwirtschaftliche Arbeitsteilung die Vertraulichkeit der Geschäftsbeziehung und der Daten wichtig ist [Li19], ist das Prinzip der kontrollierten privaten Blockchain für unsere Zwecke vorzuziehen: Verantwortlich für einzelne, z. B. regionale Netzwerke sind ausgewählte Organisationen wie etwa etablierte Maschinenringe; Teilnehmer werden identifiziert. Die zu treffenden Vereinbarungen über Art und Umfang der Arbeitsleistung, der Datenerhebung und der Datenverwendung werden formalisiert in sog. Smart Contracts. Diese sind als Programmteile in der Blockchain zu verstehen, welche die getroffenen Vereinbarungen repräsentieren und automatisiert abprüfen.

Der hier beschriebene Prototyp nutzt HyperLedger Fabric[6] als Blockchain-Basis. Diese Open-Source-Implementierung bietet insbesondere die Möglichkeit, für jede Geschäftsbeziehung separate Aufzeichnungen (sogenannte „Ledger") zu verwenden. Damit sind Geschäftsbeziehungen und Detaildaten nur für die jeweils Beteiligten sichtbar, bleiben aber fälschungssicher gespeichert und für notwendige Kontrollen verfügbar.

2 Erfolgsorientierte Dienstleistung: Präzisionssaat und -messung

Eine erfolgreiche Aussaat legt den Grundstein für gute Erträge. Da die Aussaat – wie die Ernte – ein einmaliger Schritt im Produktionsprozess ist, können Fehler in dem Arbeitsschritt schlecht ausgeglichen werden. Ziel ist die Etablierung eines guten Bestandes bei geringen Saatgutaufwendungen und geringen Arbeitserledigungskosten. Aufgrund der Bedeutung der Saat werden in der Praxis hier oft hohe Sicherheitsaufschläge gemacht: Saatmengen werden „vorsichtshalber" überdimensioniert; es wird versucht, die Qualität der Aussaat durch vergleichsweise teure Eigenmechanisierung zu sichern; Unsicherheit über die Qualität der Aussaat reduziert die Zahlungsbereitschaft für Fremdarbeit. Auf Seiten der Auftragnehmer führt die geringe Zahlungsbereitschaft zu Angeboten unterhalb der optimal möglichen Qualität. Hochwertige Lösungen werden oft aufgrund von Vertrauensproblemen nicht angeboten. Dies stellt ein typisches Marktversagen durch Informationsasymmetrie dar. Unser neuer Ansatz ermöglicht es, Qualitätsmerkmale der Dienstleistung (hier: der Aussaat) mit nachprüfbar messbaren Kriterien in Smart Contracts zu vereinbaren und auch finanziell zu kompensieren. Um das Angebot fair zu gestalten, werden dem Smart Contract Bedingungen für den Zustand des Feldes vor Aussaat hinterlegt und Variablen bestimmt, die nach Feldaufgang objektiv prüfen können, ob das Ziel erreicht wurde.

2.1 Die Realisierung im HyServ-System

Zur Demonstration des Ansatzes unterscheiden wir drei Rollen: Der Landwirt vergibt Aufträge für Dienstleistungen und die damit verbundene Datenverarbeitung mit Erhebungsaufträgen und Zugriffsrechten. Der Maschinenring betreibt die Hyperledger-Plattform, übernimmt die Rolle des Vermittlers und erbringt Unterstützungsleistungen (wie z. B. Abrechnungsdienste). Ausführende Dienstleister setzen die notwendigen Maschinen ein und leisten die beauftragte Arbeit.

Ein Auftrag beginnt mit der Formung des sog. Konsortiums im Blockchain-Netzwerk. Die Peers aller Beteiligten formen einen Channel und haben fortan einen gemeinsamen Ledger. Sämtliche Auftragsdetails werden als Smart Contract formuliert und die Zugriffsrechte auf jedes Datenobjekt definiert. Zusätzlich wird festgelegt, wer Smart Contracts validiert, damit diese als gültig erachtet werden. Wenn Daten übermittelt werden, prüfen

[6] https://www.hyperledger.org/use/fabric

Smart Contracts deren Korrektheit und legen öffentliche Daten auf dem Ledger ab. Bei privaten Daten werden lediglich Prüfsummen auf dem gemeinsamen Ledger hinterlegt. So können Daten nicht im Nachhinein verändert werden; einseitiger Betrug wird aufgedeckt. Der gemeinsame Ledger spiegelt stets den Konsens der Beteiligten wider.

Beispiel: Es wird ein bestimmter Feldaufgang vereinbart. Nach Aussaat wird das Wetter zum Nachweis von Umwelteinflüssen täglich dokumentiert. Der erreichte Feldaufgang wird nach 14 Tagen per Foto dokumentiert und die Datei oder ihr Prüfwert auf dem Ledger abgelegt. Datum und Werte sind ab diesem Zeitpunkt in der Blockchain fälschungssicher fixiert. Da zur Validierung des verwendeten Smart Contracts alle Parteien zustimmen müssen, indem sie ihn ausführen, geben die übermittelten Daten und Prüfsummen den tatsächlichen Stand des Auftrags wieder, wie er von Landwirt und Lohnunternehmer bezeugt wurde. Veränderte Werte können nur mit Zustimmung aller eingespeist werden.

2.2 Erfolgskontrolle: Messung von Qualitätsparametern

Charakteristisch bei der Aussaat von Getreide und Raps ist die Nutzung volumetrischer Saatgutdosierung sowie zufälliger Saatgutverteilung über die Arbeitsbreite als auch in der Reihe. Das Resultat ist eine hohe Anzahl an Fehl- und Doppelstellen im Bestand [Ge88, MH80]. Für Reihenkulturen wie Mais oder Zuckerrüben ist bekannt, dass eine hohe Güte der Genauigkeit in der Saatgutplatzierung ertragsrelevant sein kann, da die Einzelpflanzen nur bedingt Fehlstellen ausgleichen können. Dagegen kann Getreide, insbesondere Winterweizen, mehr als 50 Seitentriebe pro Einzelpflanze ohne Konkurrenz ausbilden, um den verfügbaren Standraum besser auszunutzen [Ge83]. Aufgrund der höheren Elastizität des Weizens in der Standraumkompensation haben wir von Oktober 2018 – August 2020 Aussaatversuche durchgeführt, um mit Messungen des Feldaufgangs die Güte der Pflanzenverteilung und damit die Wirkung auf die Ertragsleistung zu untersuchen.

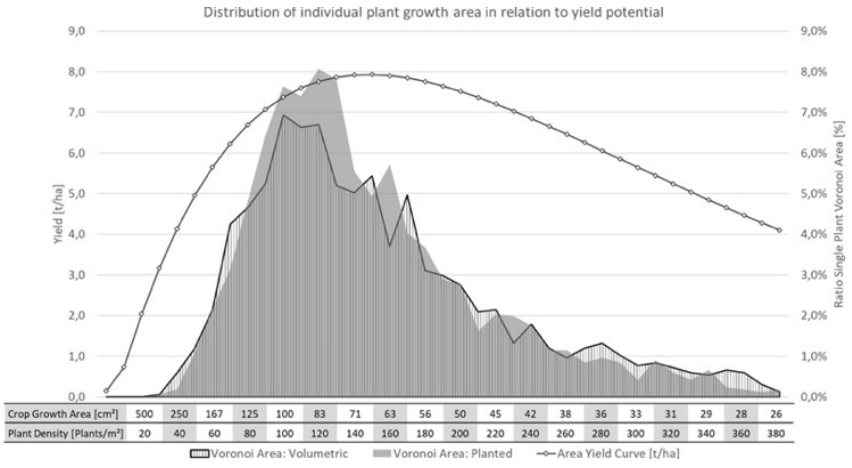


Abb. 1: Bewertung der Aussaat durch Analyse der Verteilgenauigkeit

Hierzu wurde eine Analyse der standraumspezifischen Verteilung der Einzelpflanzen mit Voronoi-Polygonen als Parameter zur Erfolgs- und Qualitätskontrolle angewendet [Gr95,Gr99]. RGB-Kamerabilder des Feldaufgangs sind die Basis. Mithilfe einer Geo-Software werden die Einzelpflanzen am Computer mit Punkten markiert, die im weiteren Prozessschritt zur Ermittlung der Voronoi-Polygone und damit der individuellen Standraumverteilung genutzt werden. Bei Darstellung der Verteilgenauigkeit im Graph kann dann analysiert werden, wie sich z. B. unterschiedliche Aussaattechniken in der Güte der Genauigkeit unterscheiden (Abb. 1). Das Wissen über die Verteilung der Einzelpflanzen kann mit einer Pflanzen-Ertragskurve kombiniert werden. Den individuellen Pflanzenstandräumen wird eine Ertragserwartung zugeordnet, mit der eine Abschätzung des potenziellen Flächenertrages vorgenommen werden kann. Diese Methodik ist eine geeignete Möglichkeit, nach Durchführung der Aussaat sowohl eine qualitative als auch monetäre Bewertung durchführen zu können [Bu20].

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Modellierung von Arbeits- und Datenverarbeitungsauftrag als Hybrider Service auf Blockchain-Basis ermöglicht transparente und fälschungssichere Vereinbarungen. Experimente mit Präzisionssaat haben gezeigt, dass damit neue, bewertbar ergebnisorientierte Dienstleistungen möglich werden, die Vorteile für Qualität und Akzeptanz digitalisierter Arbeitsprozesse bieten. In weiteren Schritten werden weitere Teilnehmergruppen, z. B. Berater, in die Prozesse einbezogen werden.

Literaturverzeichnis

[Bu20] Bund, T., Kuebler, S., Struve, C., Honermeier, B.: Using Artificial Intelligence to define a quality value of precision seed placement. VDI-Berichte Nr. 2374, 2020. 61-67.

[Ge83] Geisler, G.: Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berling & Hamburg: Paul Parey, 1983.

[Ge88] Geisler, G.: Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. Berling & Hamburg: Paul Parey, 1988.

[Gr95] Griepentrog, H.-W.: Longitudinal Distribution of sowing machines and its Effect on Single Plant Area and Yield of Colza. Agrartechnische Forschung, 1, 129 - 136. 1995.

[Gr99] Griepentrog, H.-W.: On Assessing Seed Distribution over Area. Agrartechnische Forschung, 5, 117 - 124. 1999.

[Li19] S. Linsner, F. Kuntke, G.M. Schmidbauer-Wolf, C. Reuter. Blockchain in agriculture 4.0 - An empirical study on farmers expectations towards distributed services based on distributed ledger technology, ACM Int. Conf. Proceeding Ser. 2019 (2019) 103–113. https://doi.org/10.1145/3340764.3340799.

[MH80] Müller, G., Heege, Hermann: Die Einzelkornsaat von Getreide als technisches Problem. Grundlagen der Landtechnik, 29 – 36. 1980.

Digitale Risikomanagementtools in der Landwirtschaft – Status quo und Anforderungen

Julia B. Block[1], Marius Michels[1] und Oliver Mußhoff[1]

Abstract: Verändertes Verbraucherverhalten, volatile Agrarmärkte, Klimawandel sowie gesetzliche Auflagen stellen Landwirte vor eine Vielzahl an Herausforderungen. Umso mehr gewinnt dabei das einzelbetriebliche Risikomanagement an Bedeutung. Während auf Feldern und in Ställen die Digitalisierung auf vielen Betrieben längst zum Alltag gehört, wird sie im Bereich des Risikomanagements bisher weniger genutzt, obwohl die ersten digitalen Risikomanagementtools kommerziell zur Verfügung stehen. Vor diesem Hintergrund wurde mit Hilfe einer Befragung von 161 Landwirten untersucht, welche Anforderungen Landwirte an digitale Risikomanagementtools stellen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass zur Akzeptanz und Verwendung eines digitalen Risikomanagementtools eine einfache und wenig zeitaufwendige Bedienung verlangt wird. Außerdem erwarten die Landwirte ein umfangreiches Endergebnis, in dem die Risiken nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß bewertet sowie risikoreduzierende Maßnahmen mit ihren jeweiligen Kosten und Wirkungen anschaulich dargestellt werden.

Keywords: Risikomanagement, Digitalisierung, Risikomanagementtools, deutsche Landwirte

1 Einleitung

Unter Precision-Farming-Technologien werden in der Landwirtschaft Technologien verstanden, von denen sich Landwirte[2], politische Entscheidungsträger und andere Interessensgruppen Kosteneinsparungen und Umweltschonung versprechen [FP18]. Beispiele dafür sind Satelliten, Drohnen und automatisierte Teilbreitenschaltungen einer Feldspritze. In der Tierhaltung finden sich digitale Technologien wie z. B. Melkroboter und Fütterungsautomaten. Ein weiterer wichtiger Entwicklungsschritt ist die Verbindung der zahlreichen drahtlosen Sensoren mit Smartphone oder Computer des Landwirts. Dadurch werden Landwirte bei der permanenten Dokumentation und Überwachung von Feldern, Ställen oder sonstigen Anlagen unterstützt. Installierte Apps (Anwendungssoftwares) auf Smartphones können die präzise Landwirtschaft in den Bereichen Ackerbau, Tierhaltung, Landtechnik und Betriebsmanagement unterstützen und ergänzen [Po15].

Um die Vorteile der Digitalisierung auch im Rahmen des Risikomanagements auszunutzen, wurden erste digitale Risikomanagementtools entwickelt. Denn insbesondere vor

[1] Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Arbeitsbereich für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen, juliabarbara.block@uni-goettingen.de, marius.michels@agr.uni-goettingen.de, oliver.musshoff@agr.uni-goettingen.de

[2] Aus stilistischen Gründen wird auf die durchgängige Verwendung der weiblichen und männlichen Form der Wörter verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwertig für beiderlei Geschlecht.

dem Hintergrund der fortschreitenden Liberalisierung der Märkte sowie des Klimawandels und den damit verbundenen zunehmenden Extremwetterlagen gewinnt das einzelbetriebliche Risikomanagement immer mehr an Bedeutung [Of17]. Digitale Risikomanagementtools, wie z. B. „Wappnet Agrar“ liefern dem Landwirt eine individuelle Übersicht über relevante Risikoquellen für ausgewählte Situationen oder Vorhaben [WA20]. Diese Übersichten, die auch für Banken und Berater informativ sind, tragen insbesondere dazu bei, versteckte Risiken im Alltag aufzudecken. „Risk Plan“, ein Risikomanagementtool des schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, vergleicht bereits verschiedene Szenarien und kann so die Risiken vor und nach möglichen Maßnahmen sowie die damit verbundenen Kosten in anschaulichen Grafiken darstellen [BA20]. Da die wenigen zur Verfügung stehenden Tools bislang kaum genutzt werden, sollen die Ansprüche der Landwirte an digitale Risikomanagementtools erfasst werden. Das Ziel dieses Beitrags besteht darin, die bedeutendsten Risikoquellen, die bislang eingesetzten Risikomanagementinstrumente sowie die Smartphone- und Computernutzung für betriebliche Zwecke in der Landwirtschaft zu erheben. Außerdem sollen die Anforderungen und Erwartungen von Landwirten an digitale Risikomanagementtools identifiziert werden.

Dazu wurden 161 landwirtschaftliche Betriebsleiter aus Deutschland im Frühjahr 2020 mittels einer Online-Umfrage befragt. Die Studie ist unserem Wissen nach die erste, die explizit die Schnittstelle zwischen Digitalisierung und Risikomanagement in der Landwirtschaft betrachtet und Anforderungen an digitale Risikomanagementtools ermittelt. Das Wissen über die Kundenwünsche und Erwartungen an digitale Risikomanagementtools dient der Entwicklung sowie der Optimierung solcher Tools. Die Ergebnisse sind somit für Landwirte und Softwareentwickler im Bereich des digitalen Risikomanagements von Interesse. Aber auch für die Politik liefern die Ergebnisse wichtige Erkenntnisse über die Erwartungen an digitale Risikomanagementtools in der Landwirtschaft, die für eine mögliche Förderung solcher Tools essentiell sind.

2 Methodik

Um die genannten Forschungsfragen zu untersuchen, wurde im Mai/Juni 2020 eine Online-Umfrage per E-Mail an landwirtschaftliche Betriebsleiter in Deutschland gesendet. Die E-Mail-Adressen haben wir über vorherige Befragungen von Landwirten gesammelt, die dabei explizit ihr Interesse bekundet haben, immer wieder mal zur Teilnahme an einer unserer Umfragen eingeladen zu werden. Die Umfrage war freiwillig und konnte jederzeit abgebrochen werden.

Der erste Teil des Fragebogens befasst sich mit allgemeinen Fragen zur Person und zum bewirtschafteten Betrieb. Mit dem zweiten Teil soll der Status quo im Risikomanagement der Landwirte erfasst werden. Dafür geben die Landwirte an, welche Risikoquellen für sie besonders relevant sind und welche inner- und außerbetrieblichen Risikomanagementinstrumente sie bereits anwenden. Zusätzlich schätzen die Landwirte ihre Risikoeinstellung nach Dohmen et al. [Do11] anhand einer 11-Punkte-Skala ein. Der dritte Abschnitt befasst

sich mit dem Status quo der Digitalisierung auf landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland. Es wird u.a. erfasst, ob die Landwirte Smartphones und Computer für betriebliche Zwecke nutzen und welche Funktionen/Programme sie verwenden.

Für den letzten Teil des Fragebogens wird den Teilnehmern zunächst ein fiktives digitales Risikomanagementtool vorgestellt, das aktuelle Situationen sowie zukünftige Vorhaben bewerten kann. Als Vorlage diente dabei das digitale Risikomanagementtool „Wappnet Agrar“ [WA20]. Durch Schritt-für-Schritt-Eingaben der Landwirte entsteht eine Auflistung der Risikoquellen nach ihrer Bedeutsamkeit. Dafür wählt der Landwirt Risiken hinsichtlich eines bestimmten Vorhabens aus und gibt anschließend für jeden Risikofaktor ein, ob dieser eine Wirkung auf Vermögen, Liquidität, Gesundheit und Ansehen hat. Außerdem lassen sich Schadenswahrscheinlichkeit in Prozent und Schadenshöhe in Euro einschätzen sowie Maßnahmen gegen die Risikoquellen angeben [WA20]. Nach der Vorstellung des fiktiven Tools werden die Befragten gebeten, Statements nach dem Grad ihrer Zustimmung mit Hilfe einer 5-Punkte-Likert-Skala zu bewerten. Mit Hilfe der Statements sollen die Anforderungen eines Landwirts an ein effektives digitales Risikomanagementtool erfasst werden. Im Anschluss daran wird der Kosten- und Zeitaufwand erfragt, den die Landwirte bereit wären, für das beschriebene Risikomanagementtool einzugehen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beschreibung der Stichprobe

Bei einer Rücklaufquote von circa 15 % konnten 161 vollständig beantwortete Fragebögen in die Studie eingeschlossen werden. Die Teilnehmer sind zu 90 % männlichen Geschlechts und können im Durchschnitt 25 Jahre landwirtschaftliche Berufserfahrung vorweisen. Im Mittel erwirtschaften die Landwirte ihr persönliches Einkommen zu fast 80 % aus der Landwirtschaft. Das Durchschnittsalter der befragten Landwirte liegt mit 45 Jahren unter dem Durchschnitt aller deutschen Landwirte (53 Jahre) [AG13]. Die Teilnehmer besitzen im Mittel 228 ha Ackerfläche und 32 ha Grünland. Die Durchschnittsfläche der Betriebe in der vorliegenden Stichprobe (260 ha) liegt weit über dem deutschen Durchschnitt, welcher 62,5 ha pro Betrieb beträgt [ST19]. Auf der Skala nach Dohmen et al. [Do11], schätzten sich 44 % der befragten Landwirte als risikoavers ein, doch fast genauso viele (43 %) als risikofreudig. Mit einem Mittelwert von 5,12 lassen sich die Landwirte im Durchschnitt in die Kategorie „risikoneutral“ einordnen. Damit stimmt das Ergebnis nicht mit der Literatur überein, wonach die deutschen Landwirte als leicht risikoavers eingestuft werden [Mö18].

Die junge Stichprobe und die großen Betriebe müssen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Da es sich bei der Fragestellung zu den Anforderungen an digitale Risikomanagementtools allerdings um zukünftige Gestaltungsmöglichkeiten und Nutzungen handelt, gehört die Stichprobe zu unserer Zielgruppe.

3.2 Status quo des betrieblichen Risikomanagements

Als bedeutendste Risikoquelle über die letzten 10 Jahre geben fast 90 % der Landwirte niedrige Produktpreise an, welche in den Jahren des Auftretens das Einkommen bei knapp 80 % der Teilnehmer um mehr als 15 % vom Durchschnittseinkommen negativ verändert haben. Dürre wurde von den Landwirten als zweithäufigste Risikoquelle (82,6 %) angeführt. Dieses Ergebnis könnte allerdings auch von den erst kürzlich aufgetretenen Dürrejahren 2018/19 beeinflusst sein. In den jeweiligen Jahren mit Dürreschäden wird das Einkommen bei knapp 70 % der Landwirte deutlich vermindert. Aus anderen Studien geht ebenfalls hervor, dass Produktpreisrisiken und Risiken von Trockenschäden die höchste Bedeutung zugewiesen wird [Mö18]. Veränderungen von Vorschriften und Gesetzen tangieren circa 70 % der befragten Landwirte. Hagelschäden werden von fast der Hälfte aller Landwirte (44,1 %) genannt, aber nur 6 % der Landwirte geben an, dass dadurch ihr Einkommen im jeweiligen Jahr maßgeblich negativ beeinflusst wurde. Grund für die geringe Einkommensveränderung können die weit verbreiteten Hagelversicherungen sein [GD18].

Als innerbetriebliches Risikomanagementinstrument nutzen circa zwei Drittel der Landwirte wenig riskante Fruchtarten sowie robuste Tierrassen (65,8 %). Die Hälfte der Teilnehmer bemüht sich um einen hohen Eigenkapitalanteil (49,1 %) und außerbetriebliche Investitionen (46,6 %). Als außerbetriebliches Risikomanagementinstrument schließen 80 % der Landwirte schadensbezogene Versicherungen ab. Auch Lieferverträge zur Absicherung von Preisrisiken nutzen deutlich über die Hälfte der Landwirte (67,1 %). Preisabsicherung an der Warenterminbörse wird hingegen nur von 12 % der Landwirte vollzogen und indexbezogene Versicherungen werden lediglich von 2 % abgeschlossen. Auch laut Literatur nutzen bisher nur wenige Landwirte anonyme Warenterminkontrakte und indexbezogene Versicherungen, welche aber Potenzial als Risikomanagementinstrumente hinsichtlich volatiler Preise und Extremwetterlagen haben können [Mö18] [Of17].

3.3 Status quo der betrieblichen Digitalisierung

Alle von den 161 befragten Landwirten nutzen einen Computer und 90 % ein Smartphone für betriebliche Zwecke. Das Smartphone wird von fast allen Landwirten (93,8 %) für Anrufe und von 86 % für Wetter-Apps eingesetzt. Die Hälfte der befragten Landwirte setzt Apps auf dem Smartphone als Hilfsmittel für Schädlings- und Unkrautbekämpfung ein. Der Computer wird vorranging für das betriebliche Management (84,5 %) sowie zur Informationsbeschaffung von aktuellen Marktdaten (77,0 %) genutzt. Aber auch für das Risikomanagement (50,3 %) und das Herdenmanagement (45,3 %) wird primär der Computer eingesetzt. Zur Unterstützung des betrieblichen Managements im Alltag stufen drei Viertel der Landwirte digitale Tools auf einer 5-Punkte-Likert-Skala als nützlich ein. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebe schätzen knapp 80 % der Landwirte die Anpassung an die digitale Landwirtschaft innerhalb der nächsten 10 Jahre als wichtig ein.

3.4 Digitale Risikomanagementtools

Zwei Drittel der Landwirte geben an, dass digitale Risikomanagementtools keine reine Zeitverschwendung darstellen. Weiterhin scheinen die Landwirte Wert auf ein leicht verständliches Risikomanagementtool zu legen. Denn 70 % der Teilnehmer stimmen für hinterlegte Informationen zu jedem einzelnen Risikofaktor, ebenso viele für umfassende Kataloge von Risiken zum Auswählen der Risikoquellen und fast 50 % für Erklärvideos. Einer einfachen digitalen Checkliste zur Übersicht der betrieblichen Risiken sowie dem beschriebenen Endergebnis des fiktiven Tools stehen weniger als die Hälfte der Landwirte (43,5 %) positiv gegenüber. Dafür wünschen sich zwei Drittel der Teilnehmer ein Tool, das die Risiken vor und nach möglichen Maßnahmen anzeigt und dabei die Risikoreduktion sowie die Kosten berechnet. Ebenso viele Landwirte würden das Ergebnis gerne durch zusätzliche, anschauliche Grafiken ergänzt sehen, welche die Risiken anhand ihrer Eintrittswahrscheinlichkeiten in Prozent und Schadenshöhe in Euro abbilden. Die Quantifizierung der Risikoreduktion durch mögliche Maßnahmen sowie der daraus entstehenden Kosten ist kompliziert und erfordert den Einsatz von umfassenden mathematischen Modellen im Rahmen des Tools. Auch die künstliche Intelligenz könnte hier Anwendung finden, um mit ausgeklügelten Algorithmen dem Landwirt Entscheidungen nicht nur leichter zu machen, sondern gänzlich abzunehmen.

Während die Landwirte sich ein sehr umfangreiches Output als Ergebnis eines digitalen Risikomanagementtools wünschen, wollen sie im Gegenzug dafür pro Monat durchschnittlich nur 5 Stunden ihrer Zeit investieren. Hier besteht ein Zielkonflikt: Der Wunsch nach dem umfangreichen Output ist, bei aktuellem Stand der Technik, noch nicht mit dem wenigen zeitlichen Input kompatibel, den die Landwirte bereit sind einzusetzen. Die dagegen relativ hohe Zahlungsbereitschaft für das fiktive Tool von durchschnittlich 49 Euro pro Monat lässt sich auf die überdurchschnittlich großen Betriebe, die in diese Studie eingeschlossen wurden, zurückführen. Allerdings muss angenommen werden, dass eine hypothetische Verzerrung (Hypothetical Bias) der angegebenen Zahlungsbereitschaft vorliegt und die tatsächliche Zahlungsbereitschaft darunter liegt [PH18]. Als Hauptgrund für die Nutzung eines digitalen Risikomanagementtools geben die Landwirte eine schnelle Bewertung und Konkretisierung von Risiken zukünftiger Vorhaben sowie einen ganzheitlichen Überblick über Risiken an.

4 Schlussbemerkungen und Ausblick

Auch wenn hinsichtlich der digitalen Risikomanagementtools ein Zielkonflikt zwischen minimalem Input und maximalem Output besteht, können von dieser Studie Implikationen abgeleitet werden. Ein digitales Risikomanagementtool muss entscheidende Vorteile gegenüber bisherigen Praktiken bereitstellen. Eine schlichte Auflistung der relevanten Risiken reicht nicht aus, damit das Tool von Landwirten als effektive Hilfe im Risikomanagement angesehen wird. Das Alleinstellungsmerkmal eines digitalen

Risikomanagementtools liegt in der Quantifizierung von Risiken vor und nach risikoreduzierenden Maßnahmen und den damit verbundenen Kostenkalkulationen sowie in der Entscheidungserleichterung für den Landwirt. Ein solches Tool erfordert die Anwendung mathematischer Modelle und könnte auch eine der ersten Schnittstellen zwischen Landwirten und künstlicher Intelligenz darstellen.

Literaturverzeichnis

[AG13] AgriDirect, Jahresübersicht Pressemitteilung, https://issuu.com/agridirect/docs/pressemitteilungen_2013, Stand: 23.10.2020.

[BA20] BAFU, Bundesamt für Umwelt, RiskPlan – Risiken erfassen, bewerten und Maßnahmen planen, http://www.riskplan.admin.ch/impressum.php, Stand: 27.07.2020.

[Do11] Dohmen, Thomas; Falk, Armin; Huffmann, David; Sunde, Uwe; Schupp, Jürgen; Wagner, Gert G.: Individual Risk Attitudes: Measurement, Determinants and Behavioral Consequences. Journal of the European Economic Association 9 (3), S. 522–550, 2011.

[FP18] Fulton, John; Port, Kaylee: Precision Agriculture Data Management. Precision Agriculture Basics: John Wiley & Sons, Ltd, S. 169–187, 2018.

[GD18] GDV, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft, Naturgefahrenreport 2020, https://www.gdv.de/service/suche/de/4422?query=hagelversicherung+insgesamt+derzeit+Landwirtschaft&r=&docType=&s=#more, Stand: 22.10.2020.

[MH20] Mußhoff, Oliver; Hirschauer, Norbert: Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Franz Vahlen; Verlag C.H.BECK oHG, München, 2020.

[Mö18] Möllmann, Johannes: Status quo des Risikomanagements in der deutschen Landwirtschaft: Besteht Bedarf an einer Einkommensversicherung? Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft 96 (3), 2018.

[Of17] Offermann, Frank; Efken, Josef; Ellßel, Raphaela; Hansen, Heiko; Klepper, Rainer; Weber, Sascha A.: Ausgewählte Instrumente zum Risikomanagement in der Landwirtschaft: Systematische Zusammenstellung und Bewertung. Thünen Working Paper, No. 72, 2017.

[PH18] Penn, Jerrod M.; Hu, Wuyang: Understanding Hypothetical Bias: An Enhanced Meta-Analysis. American Journal of Agricultural Economics 100 (4), S. 1186-1206, 2018.

[Po15] Pongnumkul, Suporn; Chaovalit, Pimwadee; Surasvadi, Navaporn: Applications of smartphone-based sensors in agriculture: A systematic review of research. Journal of Sensors 1-18, 2015.

[ST19] Statista, Durchschnittliche genutzte landwirtschaftliche Fläche pro Betrieb nach Bundesland in Deutschland 2019, https://de-1statista-1com-1ny53hpf83f88.han.sub.uni-goettingen.de/statistik/daten/studie/173089/umfrage/betriebsgroesse-von-agrarbetrieben-2010/, Stand: 28.07.2020.

[WA20] Wappnet Agrar, https://www.wappnet.de/wappnet-agrar/, Stand: 03.08.2020.

Vertrauenswürdigkeit von Anwendungen der Künstlichen Intelligenz – Konsequenzen für den Agrarsektor

Reiner Brunsch[1]

Abstract: Im Beitrag werden, ausgehend von der (in Europa genutzten) Definition Künstlicher Intelligenz, die Komponenten und Anforderungen von vertrauenswürdiger Künstlicher Intelligenz (vKI) dargestellt, wie sie von der Europäischen Kommission empfohlen werden. Da KI nicht Selbstzweck ist, sondern einen Beitrag zur Mehrung des Gemeinwohls leisten soll, gilt es diese Effekte künftig zu bewerten, neben der Erfüllung der Anforderungen über den gesamten Lebenszyklus. Die Frage der Vertrauenswürdigkeit bezieht sich nach Auffassung von Experten und Europäischer Kommission nicht nur auf die KI an sich, sondern auch auf die zugrundeliegenden Daten und die verfolgten Geschäftsmodelle. Es wird aufgezeigt, wie in anderen Teilen der Welt mit ethischen Grundsätzen der KI-Anwendung umgegangen wird. Neben den Möglichkeiten zur Bewertung der Vertrauenswürdigkeit werden Spezifika der Agrarproduktion vorgestellt, die eine sektorspezifische Bewertung begründen.

Keywords: Künstliche Intelligenz, Vertrauenswürdigkeit, Bewertungsmethoden, Agrarproduktion

1 Einleitung

Über die Funktionen von Künstlicher Intelligenz (KI) ist in jüngster Zeit international teils sehr kontrovers diskutiert und entschieden worden. Dabei hat das Thema Vertrauenswürdigkeit zunehmend an Bedeutung gewonnen. Der Begriff „Künstliche Intelligenz“ wird hier im Sinne der Definition der Hochrangigen Expertengruppe für Künstliche Intelligenz (HEG-KI) verwendet [Et19]. Die folgenden Aussagen zu KI-Systemen beziehen sich prinzipiell auf deren gesamten Lebenszyklus. Die hohe Komplexität der Agrarproduktion macht diese besonders attraktiv für KI-Anwendungen.

2 Vertrauenswürdigkeit von KI-Anwendungen „Made in Europe“

Die Europäische Kommission setzt sich dafür ein, den Aspekt der Vertrauenswürdigkeit als wesentliches Charakteristikum europäischer Entwicklungen zu unterstützen [Wh20]. In den EU-Ethik-Richtlinien für eine vertrauenswürdige KI wird darauf verwiesen, dass die KI kein Selbstzweck ist, sondern ein vielversprechendes Mittel, um das menschliche Gedeihen und somit das Wohlbefinden von Individuum und Gesellschaft und das Gemeinwohl zu steigern sowie zur Förderung von Fortschritt und Innovation beizutragen

[1] Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie, Max-Eyth-Allee 100,| 14469 Potsdam, rbrunsch@atb-potsdam.de,

[Et19]. Allgemeiner auf den gesamten Prozess der Digitalisierung bezogen, wird vom Wissenschaftlichen Beirat der deutschen Bundesregierung für globale Umweltveränderungen (WBGU) in der Zusammenfassung seines Hauptgutachtens 2019 die Erwartung formuliert, dass „die Digitalisierung so gestaltet werden muss, dass sie als Hebel und Unterstützung für die Große Transformation zur Nachhaltigkeit dienen und mit ihr synchronisiert werden kann“ [Un19].

Eine vertrauenswürdige KI zeichnet sich laut HEG-KI [Et19] durch *drei Komponenten* aus, die während des gesamten Lebenszyklus des Systems erfüllt sein sollten: a) Sie sollte *rechtmäßig* sein und somit alle anwendbaren Gesetze und Bestimmungen einhalten, b) sie sollte *ethisch* sein und somit die Einhaltung ethischer Grundsätze und Werte garantieren und c) sie sollte *robust* sein, und zwar sowohl in technischer als auch sozialer Hinsicht, da KI-Systeme selbst bei guten Absichten unbeabsichtigten Schaden anrichten können. Jede Komponente an sich ist notwendig, jedoch nicht ausreichend, um das Ziel einer vertrauenswürdigen KI zu erreichen. Idealerweise wirken alle drei Komponenten harmonisch zusammen und überlappen sich in ihrer Funktionsweise.

Es muss gewährleistet sein, dass die Entwicklung, Einführung und Nutzung von KI-Systemen die *Anforderungen* an vertrauenswürdige KI erfüllen: 1) Vorrang menschlichen Handelns und menschliche Aufsicht, 2) technische Robustheit und Sicherheit, 3) Schutz der Privatsphäre und Datenqualitätsmanagement, 4) Transparenz, 5) Vielfalt, Nichtdiskriminierung und Fairness, 6) gesellschaftliches und ökologisches Wohlergehen sowie 7) Rechenschaftspflicht. Alle Anforderungen sind in Bezug auf ihre Bedeutung gleichrangig. Die Umsetzung dieser Anforderungen sollte für den gesamten Lebenszyklus eines KI-Systems erfolgen und sich nach der spezifischen Anwendung richten. Zwar treffen die meisten Anforderungen auf sämtliche KI-Systeme zu, ein besonderes Augenmerk muss jedoch auf diejenigen gelegt werden, welche direkt oder indirekt Menschen betreffen.

Da sich KI-Systeme in einem dynamischen Umfeld ständig weiterentwickeln, ist die Schaffung einer vertrauenswürdigen KI ein kontinuierlicher Prozess, in dessen Zentrum die Bewertung steht (siehe Abschnitt 4).

3 Internationale Positionen zur Vertrauenswürdigkeit von KI

Die **OECD**-Grundsätze [OE19] verlangen eine künstliche Intelligenz (KI), die innovativ und vertrauenswürdig ist und die Menschenrechte und demokratische Werte achtet. Sie wurden am 22. Mai 2019 von den OECD-Mitgliedsländern angenommen. Die KI-Grundsätze der OECD sind die ersten von Regierungen unterzeichneten Grundsätze dieser Art.

Basierend auf den KI-Grundsätzen der OECD ist das Thema auch ein Handlungsfeld der Vereinigung der **G20-Staaten**. Auf einer Fachministerkonferenz im Juni 2019 kam es zu

einer Übereinkunft [G219]. Die Zusammenfassung eines Multi-Stakeholder-Dialogs zur Rolle der Vertrauenswürdigkeit im Gesundheits- und Bildungskontext enthält u.a. Empfehlungen an die Regierungen, nicht nur das Vertrauen in KI-Anwendungen durch geeignete Maßnahmen zu stärken, sondern auch das Monitoring über die KI-Anwendungen und deren Wirkungsanalyse zu beschleunigen [Su20].

Die OECD listet für die **USA** derzeit 40 nationale Initiativen für KI auf und wird als globale Nummer 1 in der Forschung zu KI gesehen [AI20]. Es fällt in den nationalen Veröffentlichungen auf, dass eher von Verantwortung (responsibility) und ethischer KI (ethic AI) geschrieben wird. Es scheint so, als würden Gesellschaft und IT-Wirtschaft zunehmend erkennen, dass KI nur eine Chance hat, wenn sie auch die Menschen mitnimmt. Einen Überblick über die aktuellen Debatten und Wertungen geben PANG [Pa20] und KIND [Ki20]. Zum Jahresende 2019 forderte HAO dazu auf, das „AI ethics-washing“ zu stoppen und wirklich etwas zu tun [Ha19]. Dies charakterisiert den Beginn der dritten Welle (KIND), in der KI als sozio-technisches System verstanden wird und auch entsprechende Instrumente zum Audit und der Bewertung entwickelt werden.

China hat als G20-Mitglied die KI-relevanten Dokumente mitgezeichnet. Die Regierung hat in Juni 2019 die Grundsätze für die neue Phase des Umgangs mit KI veröffentlicht. Diese heben das Thema der Entwicklung verantwortungsvoller künstlicher Intelligenz hervor und betonen acht Prinzipien: Harmonie und Freundschaft, Fairness und Gerechtigkeit, inklusives Teilen, Achtung der Privatsphäre, Sicherheit und Kontrollierbarkeit, gemeinsame Verantwortung, offene Zusammenarbeit und agile Governance [Pr19].

4 Bewertungsmethoden für vertrauenswürdige KI

Die Europäische Kommission hat im Juli 2020 die Bewertungsliste für vertrauensvolle KI veröffentlicht [Th20]. Sie ist Ergebnis der Arbeit der HEG-KI, für die Eigenbewertung vorgesehen und orientiert sich an den sieben Anforderungen an eine vKI. Somit besteht für die EU-Staaten ein einheitliches Bewertungsinstrumentarium.

Prinzipiell sind Standards und Normen nützliche Instrumente für die Überwachung und Zertifizierung technischer Prozesse, die in der Regel Ergebnis einer demokratischen Aushandlung sind [Be20a]. Unter der Annahme, dass es sich bei vKI um ein sozio-technisches System handelt, würde der Prozess der Standardentwicklung sich nicht nur auf die technischen Aspekte beziehen können [Be20a]. Unter Berücksichtigung der besonderen Herausforderung schlagen TIEDRICH und QADIR [TQ20] für die Operationalisierung von vKI den Weg über „best practices“ vor.

Die Kompetenzplattform KI.NRW fördert ein Projekt zum Aufbau eines Zertifizierungsrahmens für KI-Systeme [Wh19].

Eine weitere Frage der Bewertung betrifft den Nutzen der KI-Anwendung für die Menschheit. Dafür steht bisher kein allgemein anerkanntes Verfahren zur Verfügung. Einen Ansatz können die z.B. zivilgesellschaftlichen Diskurse liefern, bei denen es beispielsweise um die Frage geht, ob Algorithmen das Gemeinwohl fördern können [Be20b]. Andere Ansätze sind im April 2020 veröffentlicht worden [Ex20]. In diesem Report wird die Bewertung unterteilt in das Audit der Algorithmen und die Wirkungsanalyse der Algorithmen, wobei bei der Wirkungsanalyse zwischen Risikoabschätzung (vor der Anwendung) und Bewertung der Auswirkungen (während der Anwendung) unterschieden wird.

5 Gründe für eine sektorspezifische Anpassung der Bewertungsmethoden in der Agrarwirtschaft

Bereits in der Ethik-Richtlinie der HEG-KI [Et19] wird auf die eventuelle Notwendigkeit einer sektorspezifischen Anpassung der Richtlinie hingewiesen.

Die Besonderheit der landwirtschaftlichen Primärproduktion im Vergleich zu anderen Wirtschaftsbereichen wird seit längerem aus verschiedenen Sichtweisen hervorgehoben. So wird die Agrarproduktion beispielsweise anhand folgender Merkmale charakterisiert [Pe05]: Es handelt sich um agrarisch geprägte Ökosysteme, die mit sozio-technischen und sozio-ökonomischen Um- und Supersystemen in Beziehungen stehen. Das Agrarökosystem kann noch in seine Untersysteme Boden, Pflanzen, Tiere unterteilt werden, die miteinander interagieren und von Menschen und Maschinen beeinflusst werden. Diese zentralen Subsysteme der Agrarproduktion sind biologische Systeme, die einerseits über die Fähigkeit der Selbstregulation verfügen, aber gleichzeitig gegenüber ihrer Umwelt als weitgehend offene Systeme funktionieren. Deshalb werden Agrarproduktionssysteme im Kontext der Digitalisierung als cyber-physical-biological-social-ecological systems (cpbses) gesehen, in denen 5 Welten aufeinander treffen: die physische, biologische, humane/soziale, die Informationswelt und die Umwelt [Br19]. Im Unterschied zu Industrie 4.0, wo von cyber-physical systems (cps) gesprochen wird, sind bei KI-Anwendungen im Agrarbereich einige Dimensionen mehr zu berücksichtigen.

Eine weitere Besonderheit ist die moralische und rechtliche Rolle der in der Nutztierhaltung Beschäftigten. Tierschutz ist seit 2002 in Deutschland Staatsziel. Niemand darf einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen. Die Rechtsposition der Tiere ist detailliert und aktuell beschrieben, u.a. in [DT19]. Bezüglich der Auswirkungen für KI-Anwendungen wurden bisher keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen gefunden.

Mit der Digitalisierung wird zwischen den Menschen und den anderen Elementen eines Agrarökosystems eine neue Ebene eingezogen, der „digitale Vorhang“. Insbesondere der

komplexe Informationsaustausch zwischen Menschen und anderen biologischen Systemen wird verändert, im ungünstigen Fall behindert. vKI muss dies berücksichtigen.

6 Ausblick

Damit Vertrauenswürdigkeit das Kennzeichen von (europäischen) KI-Anwendungen in der Landwirtschaft werden kann, braucht es eine Berücksichtigung der Besonderheiten der Agrarproduktion. Ziel einer vom Autor initiierten (europäischen) Arbeitsgruppe ist es, diese Besonderheiten für den gesamten Lebensprozess von KI-Systemen zu berücksichtigen und daraus einen Bewertungsrahmen zu entwickeln, der wissenschaftlich begründet ist und in einem breiten Stakeholder-Diskurs zur Akzeptanz gebracht werden soll. Auf diese Weise soll die technologische Innovation KI zu einem akzeptierten, gemeinwohlorientierten sozio-technischen System im Agrarbereich werden. Als übergeordnete Ziele werden die Gewährleistung von Ernährungssicherheit und Ernährungssouveränität im Digitalzeitalter angesehen.

Literaturverzeichnis

[AI20] OECD (2020b) AI in United States https://www.oecd.ai/dashboards/countries/UnitedStates. Abruf: 15.11.2020.

[Be20a] BEINING, L. (2020a) Vertrauenswürdige KI durch Standards? https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/herausforderungen-standardisierung-ki.pdf. Abruf: 15.11.2020.

[Be20b] BEINING, L. (2020b) Können Algorithmen das Gemeinwohl stärken? https://www.stiftung-nv.de/de/publikation/koennen-algorithmen-das-gemeinwohl-staerken. Abruf: 15.11.2020.

[Br19] BRUNSCH, R. (2019) Stellungnahme zu „Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft“, Deutscher Bundestag, https://www.bundestag.de/resource/blob/592038/f9a405974cd67de52d7dc25ed64011af/Stn_von_Prof_Brunsch-data.pdf. Abruf: 15.11.2020.

[DT19] DIEHL, E. und TUIDER, J. (2019) Haben Tiere Rechte? https://www.bpb.de/shop/buecher/schriftenreihe/297138/haben-tiere-rechte. Abruf: 15.11.2020.

[Et19] HEG-KI (2019): Ethik-Leitlinie für eine vertrauenswürdige KI, April 2019, https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai Abruf: 15.11.2020.

[Ex20] ALI (2020) Examining the Black Box: Tools for Assessing Algorithmic Systems, Ada Lovelace Institute, https://www.adalovelaceinstitute.org/examining-the-black-box-tools-for-assessing-algorithmic-systems/ Abruf:15.11.2020.

[G219] G20 (2019) G20 Ministerial Statement on Trade and Digital Economy, Annex: G20 AI Principles, June 2019 https://www.mofa.go.jp/files/000486596.pdf. Abruf: 15.11.2020.

[Ha19] HAO, K. (2019) In 2020, let's stop AI ethics-washing and actually do something https://www.technologyreview.com/2019/12/27/57/ai-ethics-washing-time-to-act/ Abruf: 15.11.2020.

[Ki20] KIND, C. (2020) The term 'ethical AI' is finally starting to mean something, Carly Kind, August 23, 2020 https://venturebeat.com/2020/08/23/the-term-ethical-ai-is-finally-starting-to-mean-something/ Abruf: 15.11.2020.

[OE19] OECD (2019a) OECD-Grundsätze für künstliche Intelligenz https://www.oecd.org/berlin/presse/Flyer_AIPrinciples_FINAL_GER.pdf Abruf: 14.11.2020.

[Pa20] PANG, W. (2020) Responsible AI becomes critical in 2021 (Nov 2020) https://venturebeat.com/2020/11/11/responsible-ai-becomes-critical-in-2021/ Abruf: 15.11.2020.

[Pe05] DFG (2005) Perspektiven der agrarwissenschaftlichen Forschung, Denkschrift, Deutsche Forschungsgemeinschaft https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/geschaeftsstelle/publikationen/perspektiven_agrarwiss_forschung_de.pdf. Abruf: 15.11.2020.

[Pr19] MOST (2019) Principles of next-generation AI governance - responsible AI http://most.gov.cn/kjbgz/201906/t20190617_147107.htm. Abruf:14.11.2020.

[Su20] G20 (2020): Summary of discussions from the G20 AI dialogue in 2020, https://g20.org/en/media/Documents/Summary%20of%20Discussions%20from%20the%20G20%20AI%20Dialogue%20in%202020.pdf. Abruf:15.11.2020.

[Th20] EC (2020b) The Assessment List for Trustworthy Artificial Intelligence (ALTAI) for self-assessment https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/73552fcd-f7c2-11ea-991b-01aa75ed71a1 Abruf: 15.11.2020.

[TQ20] TIEDRICH, L. und QADIR, L. (2020) 10 Steps To Creating Trustworthy AI Applications https://www.cov.com/-/media/files/corporate/publications/2020/04/10-steps-to-creating-trustworthy-ai-applications.pdf Abruf: 15.11.2020.

[Un19] WBGU (2019) Unsere gemeinsame digitale Zukunft, Hauptgutachten, Zusammenfassung https://issuu.com/wbgu/docs/wbgu_hgd2019_z. Abruf:15.11.2020.

[Wh19] IAIS (2019) Whitepaper-KI-Zertifizierung, Fraunhofer-IAIS, https://www.iais.fraunhofer.de/content/dam/iais/KINRW/Whitepaper_KI-Zertifizierung.pdf. Abruf: 15.11.2020.

[Wh20] EC (2020a) White paper: On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf. Abruf: 15.11.2020.

Veränderungen des Einkaufsverhaltens bei Lebensmitteln während der Corona-Pandemie

Eine Chance für den Online-Handel?

Gesa Busch [1], Aurelia Schütz[1], Elisa Bayer[1] und Achim Spiller[1]

Abstract: Die Corona-Pandemie im Jahr 2020 hat für Veränderungen im Alltag vieler Menschen gesorgt und auch das Einkaufsverhalten bei Lebensmitteln, zumindest zeitweise, massiv verändert. Online-Umsätze bei Lebensmitteln sind im ersten Halbjahr 2020 stark gestiegen. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus zwei Online-Panel-Befragungen mit 603 Verbraucher*innen in Deutschland zum Einkaufsverhalten bei Lebensmitteln dargestellt. Diese wurden im April und Juni 2020 durchgeführt. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf Onlinekäufen von Lebensmitteln. Es zeigt sich, dass etwa ein Fünftel der Befragten zumindest ab und zu Lebensmittel online einkauft. Gründe dafür sind der Wunsch zu Hause zu bleiben, um Ansteckungen mit dem Coronavirus zu vermeiden, sowie Out-of-Stock-Situationen bei einzelnen Produkten im Lebensmittelhandel vor Ort. Die Personengruppe der Online-Shopper ist etwas jünger und etwas besorgter über eine Ansteckung mit dem Coronavirus sowie über steigende Lebensmittelpreise als der Rest der Stichprobe. Für viele Nicht-Online-Shopper wirkt der Wunsch, Lebensmittel vor dem Kauf zu begutachten, als zentrale Nutzungsbarriere bei Online-Angeboten.

Keywords: Corona-Pandemie, Lebensmitteleinkauf, Verbraucherverhalten, Online-Handel

1 Einleitung

Die Corona-Pandemie im Jahr 2020 und der damit einhergehende Lockdown hat den Alltag vieler Menschen in Deutschland massiv verändert und damit gewohnte Abläufe durchbrochen. Leere Supermarktregale und „Hamsterkäufe“ von Hygieneartikeln und lagerfähigen Lebensmitteln waren erste Anzeichen für eine Veränderung des Einkaufsverhaltens zu Beginn der Pandemie (März/April 2020). In KW 9 und 10 verdoppelte sich die Nachfrage nach Mehl und Teigwaren im Vergleich zum Durchschnitt der vorangegangenen sechs Monate. Auch Reis, Nudeln und passierte Tomaten wurden verstärkt eingekauft [Sb20]. Während das Wachstum des Online-Handels Corona-bedingt im erstem Quartal 2020 bei 1,5 % stagnierte, wird für das zweite Quartal 2020 ein Wachstum von insgesamt 16,5 % angegeben. Dabei stechen vor allem Waren des täglichen Bedarfs und darunter Lebensmittel hervor: Allein Lebensmittel verzeichneten ein Umsatzwachstum von 89,4 %, und die Branche erreichte im ersten Halbjahr 2020 die

[1] Georg-August-Universität Göttingen, Marketing für Lebensmittel und Agrarprodukte, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen, gesa.busch@agr.uni-goettingen.de, https://orcid.org/0000-0002-7764-5187; aurelia.schuetz@uni-goettingen.de; elisa.bayer@uni-goettingen.de; a.spiller@agr.uni-goettingen.de

bisher höchsten Umsätze von 772 Mio. € [Be20]. Mit dem Ziel, das Einkaufs- und Ernährungsverhalten bei Lebensmitteln während der Corona-Pandemie genauer zu untersuchen, haben wir im April und Juni 2020 eine Online-Befragung mit jeweils 603 Verbraucher*innen durchgeführt. Die ersten deskriptiven Ergebnisse wurden bereits in zwei Diskussionspapieren veröffentlicht [Bu20a, Bu20b]. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages haben wir das Einkaufsverhalten bei Lebensmitteln mit Blick auf Online-Einkäufe genauer untersucht.

2 Methodische Vorgehensweise und Stichprobenbeschreibung

2.1 Studiendesign, Datenerhebung und -auswertung

Um das Einkaufsverhalten während der Corona-Pandemie abzubilden, wurden zu zwei Zeitpunkten im Jahr 2020 (April und Juni) Teilnehmer*innen über einen Online-Panel-Anbieter rekrutiert. Die Befragungen sind als Panelstudie angelegt, d.h. im Juni wurden nur Personen befragt, die bereits im April (n=947) teilgenommen hatten. Nach Bereinigung der Daten konnten die Datensätze von insgesamt 603 Proband*innen aus beiden Befragungen zur Auswertung herangezogen werden. Um etwaige Veränderungen im Verlauf der Pandemie analysieren zu können, wurden wesentliche Fragen aus der ersten Befragung (April) in der zweiten Befragung (Juni) erneut gestellt. Die Datenanalyse erfolgte mittels des Statistikprogramms SPSS.

2.2 Stichprobenbeschreibung

Die Stichprobe folgt in Bezug auf Geschlecht, Ausbildung, Haushaltsnettoeinkommen und geographische Herkunft innerhalb Deutschlands der Verteilung des deutschen Bundesdurchschnitts. So sind bspw. 49,4 % der Befragten männlich und 50,7 % weiblich. 21,8 % sind (noch) ohne beruflichen Abschluss, 50,5 % haben eine Ausbildung, 9,6 % eine Fachschulausbildung, 16,6 % einen Hochschulabschluss und 1,2 % sind promoviert. Eine detaillierte Beschreibung der Stichprobe ist den beiden Diskussionspapieren [Bu20a, Bu20b] zu entnehmen.

3 Einkaufsverhalten während der Corona-Pandemie

3.1 Betroffenheit der Befragten durch die Corona-Pandemie

Von den 603 Befragten befanden sich im April 2020 20,1 % (Juni: 16,4 %) im Homeoffice, 10 % (Juni: 8,1 %) in Kurzarbeit und 1,7 % (Juni: 2,2 %) mussten ihr Geschäft/Restaurant aufgrund der Pandemie schließen. Zum Befragungszeitpunkt im

April hielten 20,1 % eine Ansteckung mit dem Coronavirus für sehr oder eher wahrscheinlich, im Juni waren es nur noch 14,8 %. Das Gesundheitsrisiko im Fall einer Ansteckung wurde im April von 37,8 % und im Juni von 38,5 % als sehr oder eher ernst zu nehmend eingeschätzt. Lebensmittelknappheiten befürchteten im April 18,8 % und im Juni 10,8 %, während 49 % (April) bzw. 43 % (Juni) die Angst vor steigenden Lebensmittelpreisen beschäftigte.

3.2 Einkaufshäufigkeiten und Einkaufsstättenwahl

Vor Beginn der Corona-Pandemie kaufte ein Großteil der Befragten mehrmals pro Woche (63 %) Lebensmittel ein. Im April 2020 nahm die Einkaufshäufigkeit merklich ab – nur noch 38,6 % gaben an, mehrmals in der Woche Lebensmittel einzukaufen, etwa die Hälfte (48,6 %) gab sogar an, nur einmal pro Woche einkaufen zu gehen. Im weiteren Verlauf der Corona-Pandemie (Juni 2020) nahm die Einkaufshäufigkeit bei Lebensmitteln wieder etwas zu.

Im April 2020 haben wir die Einkaufsstätten für Lebensmittel abgefragt. 58,6 % der Befragten gaben an, sehr oft oder häufig beim Discounter einzukaufen, 55,6 % im Supermarkt, 6,3 % auf dem Wochenmarkt. Jeweils 4,5 % gingen sehr oft oder häufig im Naturkostladen/Biosupermarkt oder beim Bauern/Direktvermarkter einkaufen und 2,8 % gaben an, Lieferservices von Lebensmitteln wie bspw. Gemüsekisten sehr oft oder häufig zu nutzen. Im April gaben etwa drei Viertel der Befragten an, nie im Online-Lebensmittelhandel einzukaufen (76,8 %). 12,4 % taten dies selten, 7,2 % manchmal, 2,0 % häufig und 1,7 % sehr oft.

Von den Befragten, die den Online-Lebensmittelhandel nutzen, gaben 15,1 % an, dies nun viel oder sehr viel mehr als vor der Corona-Pandemie zu tun. 23,1 % sagten hingegen auch, dies während der Corona-Pandemie nun weniger oder sehr viel weniger zu nutzen und 57,6 % antworteten mit „teils/teils“. Als Gründe, die sehr stark oder stark zum Online-Kaufverhalten beitragen, wurden angegeben: möglichst viel zu Hause bleiben zu wollen, um andere Menschen vor einer Ansteckung mit dem Coronavirus zu schützen (48,2 %), ausverkaufte Produkte vor Ort (45,3 %), Angst vor einer Ansteckung mit dem Coronavirus (39,6 %) sowie mehr Zeit, um Neues auszuprobieren (25,4 %).

Im Juni 2020 haben wir verschiedene Online-Einkaufsmöglichkeiten für Speisen und Lebensmittel detaillierter abgefragt (siehe Abb. 1). Am häufigsten wurden demzufolge Essenslieferservices wie Lieferando genutzt (54,3 % zumindest selten), gefolgt von neuen Liefer- oder Mitnahmeangeboten von Restaurants (47,1 % zumindest selten). Etwa 80 % der Befragten gaben an, nie im Online-Lebensmittelhandel einzukaufen. 8,8 % taten dies selten, 6,3 % manchmal, 2,7 % häufig und 1,7 % sehr oft.

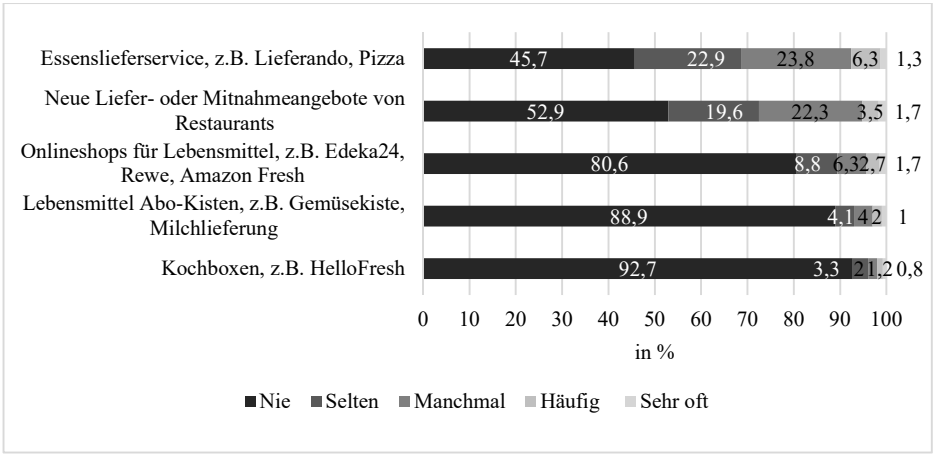


Abb. 1: Nutzungshäufigkeit von Online-Lieferdiensten für Lebensmittel (Juni 2020), n=603

Die Gründe für die Ablehnung von Online-Lebensmittelshops sind in Abbildung 2 dargestellt. Am häufigsten wurde genannt, dass die Befragten Lebensmittel vor dem Kauf begutachten möchten (64,9 %).

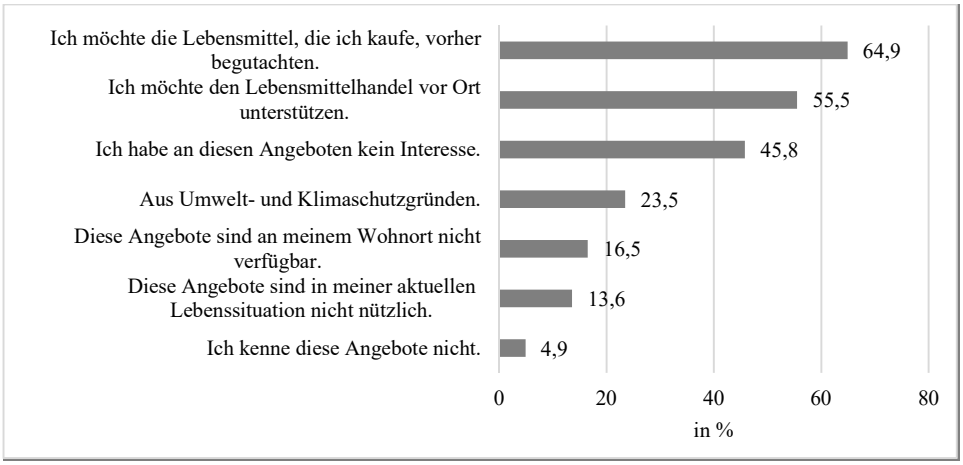


Abb. 2: Gründe für die Nicht-Nutzung von Online-Shops für Lebensmittel (Juni 2020), n=485

3.3 Charakterisierung der Online-Shopper

Die Gruppe der Online-Shopper von Lebensmitteln macht 19,4 % der Stichprobe aus (117 Personen). Tabelle 1 zeigt einige Merkmale dieser Gruppe im Vergleich zum Rest der Stichprobe. Während die Online-Shopper im Schnitt etwa 4 Jahre jünger sind als die

Offline-Shopper, zeigen sich keine Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht sowie den Anteil der Personen, die zur Risikogruppe für einen schweren Verlauf mit Covid-19 zählen. Ein etwas höherer Prozentsatz in der Gruppe der Online-Shopper ist besorgt über eine mögliche Ansteckung mit dem Coronavirus. Auch haben mehr Personen unter den Online-Shoppern Angst vor Lebensmittelknappheiten und steigenden Lebensmittelpreisen.

	Online-Shopper (n=117)	**Nicht-Online Shopper** (n=485)
Geschlecht $^{n.s.}$		
Männlich	19,1%	80,9%
Weiblich	19,6%	80,4%
Alter in Jahren**	43,4	47,9
Risikogruppe $^{n.s.}$	24,8%	28,0%
Besorgt über Ansteckung mit dem Coronavirus*	43,6%	32,1%
Angst vor Lebensmittelknappheit***	21,3%	8,2%
Angst vor steigenden Lebensmittelpreisen*	55,6%	39,8%
Vergleich beider Gruppen mittels Kreuztabellen und Chi²-Test oder T-Test. n.s.=nicht signifikant, *p≤0,05; **p≤0,01; *** p≤0,001		

Tab. 1: Beschreibung der Online- und Nicht-Online Shopper

4 Diskussion

Während im Juni weniger Befragte eine Ansteckung mit dem Coronavirus für wahrscheinlich hielten als im April, bleibt das wahrgenommene Gesundheitsrisiko vergleichbar. Die Angst vor möglichen Lebensmittelknappheiten und steigenden Lebensmittelpreisen ist zwischen den beiden Befragungszeitpunkten im Durchschnitt leicht rückläufig. Auch die Einkaufshäufigkeit von Lebensmitteln pendelt sich im Juni langsam wieder auf dem Vor-Corona-Niveau ein. Im Vergleich zum April zeigt sich also im Juni insgesamt wieder eine etwas normalisierte Situation. Dies spiegelt auch das Infektionsgeschehen wider, das Ende März/Anfang April noch deutlich stärker ausgeprägt war als im Juni [Rk20].

Etwa ein Fünftel der Befragten zählt zur Gruppe der Online-Shopper für Lebensmittel, die etwas jünger als der Rest der Stichprobe ist und sich zugleich besorgter über eine mögliche Ansteckung sowie Lebensmittelknappheiten und steigende Lebensmittelpreise zeigt. Unter den Online-Shoppern versuchen offensichtlich einige, durch eine häufigere Nutzung von Onlinekäufen das Risiko einer Ansteckung mit dem Coronavirus beim Einkauf zu reduzieren. Um eine breitere Zielgruppe anzusprechen, sollte der Online-Handel v.a. auf

die Einhaltung von Qualitätsversprechen achten, da als Barriere für Onlinekäufe der Suchgutcharakter der Frischwaren die größte Bedeutung hat (vgl. Abb. 2).

Der Lebensmittelkonsum ist bekanntlich aufgrund einiger Charakteristika (Einkaufshäufigkeit, Frischwaren, Problem der letzten Meile, geringe Handelsspannen etc.) weniger online-geeignet, der Marktanteil ist trotz Wachstum immer noch gering. Die Corona-Krise mit Out-of-Stock-Situationen und die Angst vor Ansteckung haben dem Segment jedoch einen Schub gegeben. Wenn die Krise, wie im Herbst 2020 erkennbar, länger anhalten sollte, könnten sich solche Einkaufsmuster habitualisieren und den Online-Lebensmittelvertrieb näher an einen Marktdurchbruch bringen. Neben dem Onlineeinkauf von Lebensmitteln spielen dabei traditionelle und neue Essenslieferservices eine zentrale Rolle, da sie schon jetzt eine größere Kundengruppe aufweisen.

Literaturverzeichnis

[Be20] BEVH, Bundesverband E-Commerce und Versandhandel Deutschland e.V., E-Commerce-Plus von 9,2 Prozent im 1. Halbjahr 2020 – dauerhaft mehr E-Commerce beim „Täglichen Bedarf". Pressemitteilung. https://www.bevh.org/fileadmin/content/05_presse/Pressemitteilungen_2020/200705_-_PM_Zahlen_2._Quartal_2020_im_Online-Handel.pdf, Stand: 28.10.2020.

[Bu20a] Busch, G. et al.: Einkaufs- und Ernährungsverhalten sowie Resilienz des Ernährungssystems aus Sicht der Bevölkerung: Ergebnisse einer Studie während der Corona-Pandemie im April 2020, Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Diskussionspapier Nr. 2003, 2020.

[Bu20b] Busch, G. et al.: Einkaufs- und Ernährungsverhalten sowie Resilienz des Ernährungssystems aus Sicht der Bevölkerung: Eine Studie während der Corona-Pandemie im Juni 2020. Ergebnisse der zweiten Befragungswelle. Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Diskussionspapier Nr. 2004, 2020.

[Re20] Renner, B. et al. (2020): Country comparison report: US -UK - GER (No. 2.), EUCLID-Project Risk perceptions & behavior in the context of the current Coronavirus outbreak. University of Konstanz, Germany.

[Rk20] RKI, Robert Koch Institut: Täglicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID19). 01.07.2020 – Aktualisierter Stand für Deutschland. https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/2020-07-01-de.pdf?__blob=publicationFile. Stand: 01.07.2020.

[Sb20] Statistisches Bundesamt: Corona-Krise: Experimentelle Daten zeigen Kaufverhalten im Einzelhandel. https://destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/03/PD20_112_61.html, Stand: 28.10.2020.

Über den Wert von Daten in der Landwirtschaft

Meine Daten gehören mir! Aber was sind sie eigentlich wert?

Michael Clasen[1]

Abstract: Die Forderungen, auch nicht personenbezogene Daten besser zu schützen, nehmen zu. Dies gilt auch für die Landwirtschaft. Landwirte fordern selbstbewusst „Meine Daten gehören mir" und wollen für die Bereitstellung ihrer Betriebsdaten angemessen entlohnt werden. Es spricht aber einiges dafür, dass die meisten der erhobenen Daten kaum einen ökonomischen Wert aufweisen. In diesem Artikel wird systematisch untersucht, welche Arten von Daten es gibt und welchen Marktwert sie vermutlich haben. Da Daten digitale Güter sind, gelten für sie dieselben Besonderheiten wie für sonstigen digitalen Content, wie einfache Kopier- und Veränderbarkeit. Die Analyse kommt zu dem Schluss, dass die meisten Daten in der Landwirtschaft vermutlich nur einen geringen Wert aufweisen, der eine Vermarktung, aber auch einen aufwendigen juristischen Schutz nicht rechtfertigt. Erst durch Datenaggregation und geschickte Auswertung dieser Rohdaten werden quasi in einer Veredelungsstufe nützliche Informationen erzeugt. Vermutlich wäre es aber am besten, möglichst viele Daten öffentlich zugänglich zu halten, sodass Werte durch innovative Geschäftsmodelle geschaffen werden, die auf diesen öffentlichen Daten aufbauen.

Keywords: Wert von Daten, Preise von Daten, Qualität von Daten, Landwirtschaft, Datenschutz

1 Einleitung

Daten sind das neue Öl der digitalen Wirtschaft. Slogans wie diesen liest man nahezu täglich. Aber stimmt das auch? Auch in der Landwirtschaft fallen durch Smart-Farming-Technologien große Mengen an Daten an. Es ist daher verständlich, dass auch Landwirte einen Anteil am Erlös ihrer Daten verlangen und fordern: „Meine Daten gehören mir". Diese plausibel klingende Forderung ist juristisch fraglich, da in Europa nach derzeitigem Recht lediglich personenbezogene Daten einen besonderen Schutz genießen [HK17]. Bevor nun aber neue Gesetze erlassen werden, um weitere Betriebsdaten zu schützen, sollten wir uns fragen, was die einzelnen Daten der Landwirte eigentlich wert sind. Eventuell lohnt sich der gesetzgeberische Aufwand nicht.

In diesem Artikel wird anhand ökonomischer Konzepte zunächst erarbeitet, dass nicht-exklusive Daten vermutlich nahezu wertlos sind. Im Kapitel 3 wird beschrieben, wie sich Daten qualitativ unterscheiden und wie aus diesen exklusiven Daten ökonomisch wertvolle Informationen werden können. Dass die absoluten Marktpreise aber auch für diese Informationen eher gering sein werden, wird in Kapitel 4 hergeleitet. Der Beitrag

[1] Hochschule Hannover, Fakultät für Wirtschaft und Informatik, Ricklinger Stadtweg 120, 30459 Hannover, clasenm@gmail.com, http://d-nb.info/gnd/130602388

endet mit einem Plädoyer, landwirtschaftliche Daten kostenlos öffentlich verfügbar zu machen und den Nutzen in ihrer Anwendung zu suchen.

2 Daten als homogene digitale Güter

Der Wert eines Gutes oder einer Dienstleistung entspricht seinem individuellen Nutzen, da vernünftigerweise niemand mehr für ein Gut ausgibt, als es ihm wert zu sein scheint. Die maximale Zahlungsbereitschaft eines potentiellen Käufers stellt somit eine Wertobergrenze dar. In der Praxis bekommt man Güter jedoch oft sehr viel preiswerter. Während ein Verdurstender nahezu jede Summe für ein Glas Wasser zahlen würde, beziehen wir unserer Wasser für einen deutlich geringeren Preis. Der Grund hierfür liegt im großen Angebot eines nahezu homogenen Gutes. Homogene Güter unterscheiden sich untereinander nicht in Bezug auf ihre Bedürfnisbefriedigung und sind somit austauschbar. Das einzige Unterscheidungskriterium homogener Güter ist ihr Preis, sodass die Verbraucher vernünftigerweise ausschließlich beim günstigsten Anbieter kaufen. Da alle anderen Anbieter leer ausgehen, senken sie ihre Preise, wodurch ein ruinöser Wettbewerb ausgelöst wird. Dieser Wettbewerb endet erst, wenn der Preis auf die Höhe der variablen Herstellkosten gesunken ist. Die Anbieter erzielen somit keine Gewinne, sondern schreiben Verluste in Höhe ihrer Fixkosten. Diese ruinöse Preissenkungsspirale wird in der ökonomischen Literatur auch als das Bertrand-Paradoxon bezeichnet, da ein Monopolist nicht nur seinen komfortablen Monopolgewinn verliert, wenn ein zweiter Anbieter auf den Markt kommt, sondern jeglichen Gewinn und nicht einmal in der Lage ist, seine Fixkosten zu decken [Pe10].

Bei digitalen Gütern wie Daten sind die variablen Herstellkosten in der Regel nahe Null, zumal viele Daten wie auch in landwirtschaftlichen Produktionsprozessen quasi nebenbei in einer Art Kuppelproduktion bei der Produktion von Lebensmitteln gewonnen werden. Für Daten, die von mehr als einem Anbieter angeboten werden, sollte sich daher ein Preis von Nahe Null einstellen, was der ökomischen Regel „Preis = Grenzkosten“ entspricht. Preise in Höhe der maximalen Zahlungsbereitschaft eines Käufers werden also nur dann erzielt, wenn es keinen konkurrierenden Anbieter gibt, bei dem dieselben Daten derselben Qualität billiger bezogen werden könnten.

Da Daten als digitales Gut zu Kosten nahe Null kopiert, verändert, gespeichert und global zur Verfügung gestellt werden können, ist es zudem schwer, diese Daten exklusiv zu halten. Nur sehr aktuelle Daten weisen eine gewisse Exklusivität auf. In globalen Datennetzen ist es nicht selten die Lichtgeschwindigkeit, die eine gewisse Exklusivität garantiert, da sich auch Daten nicht schneller transportieren lassen. Beim Hochfrequenzhandel von Wertpapieren sind Kursinformationen aber schon nach wenigen Millisekunden veraltet und somit nahezu wertlos. Ähnlich wie die Musikindustrie unter Raubkopien gelitten hat, dürften nützliche Daten auch ohne eine rechtliche Grundlage weitergegeben werden. Lediglich große Datenpools könnten eine Exklusivität erreichen und wahren, indem sie wertvolle Informationen aus einer besonders großen Menge an

qualitativ hochwertigen Daten generieren. Diese Datenpools würden vermutlich keine Einzeldaten herausgeben, sondern, ähnlich wie Streaming-Dienste der Musik- und Videoindustrie, nur konkrete Anfragen als Dienstleistung kostenpflichtig beantworten.

Eine Besonderheit stellen Geheimnisse dar, die durchaus für einen sehr lukrativen Insiderhandel an Börsen oder für verbrecherische Erpressungen genutzt werden könnten. In der Regel bewegen wir uns hier aber außerhalb des Rechtssystems. Legale Geheimnisse wie Rezepturen können ebenfalls schützenswert sein. Aber auch hier scheint es besser, diese geheim zu halten, als sie unter den Schutz eines Gesetzes zu stellen. Zudem nimmt die Bedeutung von Geheimrezepten in Zeiten immer besserer Analysemethoden immer weiter ab. Der Wert von Coca-Cola steckt nicht im Rezept, sondern in der Marke.

Damit Daten also einen Wert haben, müssen sie eine Exklusivität aufweisen und sich in ihrer Qualität von Daten anderer Anbieter positiv abheben. Wie die Qualität von Daten eingeschätzt wird, entscheidet allein der Käufer. Es kommt also auch darauf an, wofür die Daten verwendet werden sollen, wie also aus Daten Informationen werden.

3 Die Qualität von Daten und der Wert einer Information

Daten per se sind wertlos. Erst in einer konkreten Entscheidungssituation, wenn also aus Daten Informationen werden, wird ein Wert generiert [LLS10]. Mit besseren Informationen können bessere Entscheidungen getroffen und somit (hoffentlich) ein ökonomischer Gewinn erzielt werden.

Der Wert von Daten ist somit nicht absolut, sondern hängt maßgeblich von der konkreten Entscheidungssituation eines konkreten Entscheiders ab. Fragt sich ein Landwirt, wann er den eingelagerten Weizen verkaufen soll, wird er sich Daten über aktuelle und historische Marktpreise beschaffen, sowie weitere Daten aus den Bereichen Wetter und Politik, um auf künftige Preise schließen zu können. Die Differenz der Qualität der Entscheidung mit und ohne Daten bestimmt dann ihren Wert. Allerdings spielt in diesem Beispiel auch das Handelsvolumen eine Rolle, da eine bessere Entscheidung bei einem hohen Handelsvolumen einen absolut höheren Preis für die der Entscheidung zugrundeliegenden Daten rechtfertigt. Da aber bei Entscheidungen in der realen Welt extrem viele Faktoren eine Rolle spielen, können nie alle relevanten Daten beschafft und analysiert werden, so dass es trotz ex-ante guter Daten ex-post zu Fehlentscheidungen kommen kann. Ein anderer Handelsakteur hatte vielleicht schlechtere Daten, aber einfach mehr Glück, und hat somit im Nachhinein das bessere Geschäft gemacht. Bessere Daten müssen daher nicht zwangsläufig zu besseren Entscheidungen führen.

Trotzdem können auch Daten unterschiedliche Qualitäten aufweisen. Sie können u.a. unterschiedlich aktuell, konsistent, genau, vollständig und glaubwürdig sein [Wi20]. Sind die Daten erst einmal erhoben, ist es ex-post schwer, die Qualität zu beurteilen. Daten lassen sich leicht und kostengünstig generieren oder fälschen. Vermutlich ist es daher sinnvoller, die Qualität von Daten schon bei ihrer Erhebung, Verarbeitung und Lagerung

zu messen, also bevor sie zu individuell genutzten Informationen werden. Grundsätzlich sind Daten dann besser, wenn ihre Datengranularität hoch ist, die Daten also auf vielen Einzelmessungen basieren. Daten über die Temperatur an einem bestimmten Tag in Hannover sind vermutlich dann besser, wenn die Messungen an sehr vielen unterschiedlichen Standorten zu sehr vielen Zeitpunkten vorgenommen wurden, als lediglich einmal an einem Ort. Wie die Einzeldaten dann aggregiert und genutzt werden, kann der Nutzer je nach Entscheidungsproblem selbst entscheiden.

Daneben kann die Qualität der Sensoren und des Messvorganges eine Rolle spielen. Zumindest sollte in ergänzenden Metadaten dokumentiert sein, wie gemessen wurde. Ein Datum, für das nicht bekannt ist, wie es erhoben wurde, ist lediglich eine nichtssagende Zahl und kann höchstens in politischen Debatten plakativ für die Unterstützung der eigenen Position eingesetzt werden. Existieren Standards zum Messvorgang, sollten diese eingehalten werden, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Daten zu ermöglichen. Offensichtlich sind Daten von geringer Qualität, wenn sich Datensätze widersprechen oder lückenhaft sind. Weitere Informationen zur Daten- und Informationsqualität liefert ISO 8000-8:2015 [ISO15].

Da der einzelne Nutzer gerade bei großen Datensätzen kaum in der Lage sein wird, die Erhebungs- und Verarbeitungsqualität der Daten zu kontrollieren, stellen Daten vermutlich ein Vertrauensgut dar. Datenhändler sollten somit versuchen, eine große Vertrauensbasis und eine Marke aufzubauen, z. B. durch eine hohe Transparenz bei den Erhebungs- und Verarbeitungsprozessen. Daten, denen man nicht glaubt, sind wertlos. Es könnte Dateninspektoren und -auditoren geben, die die Qualität der Daten bzw. der Erhebungsmethoden beurteilen und garantieren. Dazu müssten in jedem Falle die Erhebungsmethoden offengelegt sein. Die Validierung der Daten könnte dann wertvoller als die Erhebung der Daten sein. Auch kann eine Datensammlung aus einzelnen wertlosen Daten wertvolle und exklusive Aggregate machen. Ein Beispiel hierfür wäre Facebook. Und ähnlich wie es Autoren von Texten häufig als ungerecht empfinden, dass Google mehr an ihren Artikeln verdient als sie selbst, werden es Landwirte als ungerecht empfinden, dass die großen Datensammler und -validierer mehr an ihren Daten verdienen als sie selbst.

4 Was sind landwirtschaftliche Daten wert?

Bleibt die Frage zu klären, wie hoch die absolute Zahlungsbereitschaft für exklusive Betriebsdaten sein könnte. Bei Big-Data-Analysen geht es darum, aus sehr großen Datenmengen nicht triviale Erkenntnisse zu generieren und hieraus bessere Entscheidungen zu ziehen. So könnte jemand, der über die qualitativ und quantitativ besten Daten der weltweit aktuellen Erntemengen von Weizen verfügt, diesen Informationsvorsprung nutzen, um erfolgreicher als jeder andere an Warenterminbörsen zu handeln. Der Weltmarktführer für Mähdrescher könnte in so eine Position gelangen, wenn alle Erntemaschinen aktuelle Erntedaten an die Zentrale senden. Hier könnte

tatsächlich ein beträchtlicher Wert geschaffen werden. Das Problem für den einzelnen Landwirt als Datenlieferant liegt aber darin, dass erst die sehr große Menge an Daten und deren geschickte Auswertung den Wert generiert. Jedes einzelne Datum ist nicht viel wert.

Ein Unternehmen, dem es bisher gut gelingt, aus vielen einzelnen Daten Profit zu schöpfen, ist Facebook. Aber auch Facebook erzielte im 4. Quartal 2019, dem bisher erfolgreichsten der Firmengeschichte, nur einen Umsatz pro Nutzer von 8,52 $ US [St20a]. Verteilt man den Gewinn von Facebook im Jahre 2019 von 18,48 Mrd. $ US [St20b] auf die 2,498 Mrd. damals aktiven Nutzer [St20c], kommt man auf bescheidene 7,40 $ US pro Nutzer und Jahr. Also selbst wenn Facebook jeden Dollar Gewinn an seine Nutzer ausschütten würde, wäre die Summe für jeden einzelnen trivial niedrig. Da der Markt für Daten-Aggregatoren extrem hohe Netzeffekte aufweist, wird es pro Branche vermutlich nur einen großen Datensammler geben (winner-takes-it-all). Somit wird die Anzahl der Nachfrager nach landwirtschaftlichen Daten sehr gering sein.

5 Fazit

Der Nutzen der Daten von Smart-Farming-Anwendungen liegt vermutlich nicht darin, die eigenen Daten gewinnbringend zu verkaufen. Für jeden Landwirt ist es natürlich nützlich zu wissen, an welchen Stellen seiner Felder er wieviel Stickstoff ausbringen sollte. Mit diesen Daten verbessert er seine eigenen Entscheidungen und erhöht seine Erträge. Für jeden anderen ist dieses spezifische Wissen kaum etwas wert und bedarf somit keines juristischen Schutzes. Was interessiert es meinen Nachbarn, welchen Nährstoffbedarf meine eigenen Felder haben?

Erst über große Datenaggregate lassen sich neue Erkenntnisse u.a. über Betriebsvergleiche erzielen. Es wird daher sinnvoll sein, offen mit seinen Daten umzugehen und auf diese Weise weitere Prozessverbesserungen zu erzielen. Daten, die keine Betriebsgeheimnisse darstellen, sollten im Web für alle frei verfügbar sein. Auf dieser Datenbasis werden neue Innovationen entstehen. Der ökonomische Nutzen liegt in der geschickten Verwendung dieser Daten und nicht in der einzelnen Vermarktung. Wenn große Datenportale anfangen sollten, ihre natürliche Monopolstellung zu missbrauchen, sollte diese nicht zerschlagen, sondern dazu verpflichtet werden, ihre Daten über offengelegte APIs allen zur Verfügung zu stellen. Ein Wettbewerb würde sich dann über die möglichst innovative Verwendung der Daten etablieren und somit weiteren Nutzen generieren.

Europa sollte Weltmeister in der innovativen Nutzung von Daten werden und nicht Weltmeister im Schutz von Daten. Es gilt die Innovationen zu schützen und nicht die Daten. Ansonsten werden europäische Unternehmen gegenüber der globalen Konkurrenz, vor allem aus den USA und China, weitere Wettbewerbsnachteile bekommen. Innovation ist Zukunft, Datenschutz die Verwaltung des Status quo.

Literaturverzeichnis

[HK17] Haase, M. S. und Kluge, V.: Rechtliche Bewertung der zunehmenden Informationsverarbeitung in der digitalisierten Landwirtschaft. in: A. Ruckelshausen et al.: Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, S. 65ff., Bonn 2017.

[ISO15] ISO 8000-8:2015: Data quality — Part 8: Information and data quality: Concepts and measuring.

[LLS10] Laudon, K. C., Laudon, J. P., Schoder, D.: Wirtschaftsinformatik – Eine Einführung, 2. Auflage, Pearson, München, S. 17f., 2010.

[Pe10] Peters, R.: Internet-Ökonomie. Springer, Heidelberg Dordrecht London New York, S. 106ff., 2010.

[St20a] Statista: Durchschnittlicher Umsatz pro Nutzer (ARPU) von Facebook weltweit vom 2. Quartal 2013 bis zum 3. Quartal 2020, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309190/umfrage/werbeeinnahmen-pro-nutzer-arpu-von-facebook-quartalszahlen/, 2020.

[St20b] Statista: Umsatz und Nettoergebnis von Facebook weltweit in den Jahren 2007 bis 2019, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309190/umfrage/werbeeinnahmen-pro-nutzer-arpu-von-facebook-quartalszahlen/, 2020.

[St20c] Statista: Anzahl der monatlich aktiven Facebook Nutzer weltweit vom 1. Quartal 2009 bis zum 3. Quartal 2020, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309190/umfrage/werbeeinnahmen-pro-nutzer-arpu-von-facebook-quartalszahlen/, 2020.

[Wi20] Informationsqualität: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Informationsqualit%C3%A4t&oldid=202917952.

Can algorithms help us manage dairy cows?

Marianne Cockburn [1]

Abstract: Digitalisation has reached agricultural production and specifically dairy farming, where a wide range of sensing technologies are now available. From farm management systems over body condition scoring systems to those that detect behavioural changes. All these systems have one aim: to offer decision support to the farmer and aid his management decisions. Currently, however, little is known about the return of investment that these systems offer, or even the effectiveness of their functionality. Only little information is available about the underlying algorithms, despite them presenting the essence of performance. Thus, we can only consider the published literature to get an impression of such systems' outcome. In the current study, we therefore evaluated machine-learning related studies published in the scientific literature between 2015 and 2020. We found that machine-learning algorithms were implemented across all fields of dairy science, but only a minority of them could reliably aid management decisions in practice. In this publication, we aim to give an overview of the achievements of current machine-learning algorithms published in dairy science literature and give an outlook on how they could develop further in the future.

Keywords: dairy, smart farming, machine learning, digitalisation, decision support systems

1 Introduction

Over the past decades, the structure of dairy farming has altered significantly. A trend from small family-run farms to large herd operations can be found across the globe. Dairy farms can only operate in an economically efficient way if the cows are healthy. Monitoring dairy cow health and wellbeing has therefore become critical, but also increasingly challenging. Digitalisation in dairy farming offers new opportunities to monitor animal health. Sensors can nowadays be installed both directly attached to the animal or indirectly in the milking machine or the barn. These sensors continuously collect data, which are stored in a variety of applications, including herd management systems and smartphone applications. Machine-learning algorithms could make additional use of such data in dairy science.

The availability of statistical packages that make it easier to apply machine-learning methods has supported their application in most scientific fields. These algorithms allow to predict data and perform data analysis without investigating a perceived outcome.

Recent studies have used machine-learning algorithms in the dairy sector, yet overall it is unclear which additional value these methods have in comparison to traditional

[1] Agroscope, Competitiveness and System Evaluation, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen,
Marianne.cockburn@agroscope.admin.ch, https://orcid.org/0000-0003-3193-0641

approaches. We therefore aim to give the reader an idea of the current ability, potential and risks of such algorithms.

2 Material and methods

The data addressed in the current publication was published and discussed previously [Co20]. The previous publication summarises the current findings and potential of machine-learning methods in dairy science and explores the potential of future research. The current publications shall focus on specific aspects and thus allow an outlook on future application potentials and risks.

2.1 Data collection

Scopus was used to discover machine-learning related studies in the field of dairy science. We used the search string "machine learning dairy", as well as method-related search strings ("Random forest dairy", "Cluster* dairy", "Neural networks dairy", "Deep learning dairy", "K-Nearest neighbor dairy", "Bayesian models dairy", "Support vector dairy", "Decision tree dairy", "Ensemble learning dairy") to find relevant literature. Due to the large number of studies available we decided to screen those in which the search strings appeared in the abstract, title or keywords of the document. Further, only articles published between 2015-2020 were considered. These articles were screened for their relevance to the field.

3 Results and discussion

The results show that machine-learning algorithms have become a common tool in dairy science. The Scopus search resulted in 1821 articles that included the search strings in their abstract title or keywords (Tab.1). Hereby, the search strings for specific method searches resulted in higher numbers of search results than the general term "machine learning", where "cluster*dairy" resulted in the highest number of articles found. The original publication discussed 101 articles [Co20]. In the current publication, we will present a confounded overview of these results.

Search string	Number of search results
Machine learning dairy	109
Random forest dairy	46
Cluster* dairy	1174
Neural networks dairy	112
Deep learning dairy	25
K-Nearest neighbor dairy	10
Bayesian models dairy	213
Support vector dairy	51
Decision tree dairy	68
Ensemble learning dairy	13

Tab. 1: Number of publications found in abstract, title or keywords. Searches last performed in Scopus on 25th of June 2020

3.1 Overview of publications

Studies using machine-learning algorithms covered a vast majority of topics concerning the management of dairy cows. These included feeding-, breeding-, and pasture management, physiology and health, as well as behavioral analysis. The main advantage of machine learning algorithms is their ability to extract information without a preconceived outcome and to predict data. This made it possible to predict milkyields [JVH18], onset of calving [Fa17, Bo17, Fe17], improve grazing management [Hy18] or to predict disease outbreaks through geospatial information [Ro17]. Anomaly detection, particularly for monitoring cow health, is a field with potential. Despite the work performed, the sensitivity and specificity of the algorithms were not satisfying. Glatz-Hoppe et al., [GML19] have been able to improve traditional feeding strategies by evaluating a large dataset (7.3 million recordings) with linear regression models and thus have been able to improve feeding strategies.

3.2 Evaluation of implementation

It became apparent that although models, sensors and IoT devices have become available, their implementation in practice is not satisfactory [OO17]]. A possible reason for this is the inefficiency of sensors, which may be due to sensors addressing only one subfield of management, where none related data to that of different subdomains [OO17]. Hardly any of the reviewed studies integrated their data with that of additional data from sensors or herd management software. Such integrated data sources would offer great potential for the application of machine-learning methods.

Furthermore, farmers are sceptical as to whether they can expect a return of investment if they purchase sensors [OO17]. However, the implementation of Big Data is still developing in the area of smart farming [WVB17, KKP17]. New ideas, such as the "dairy brain", which continuously evaluates data from feeding schedules, herd management systems, and the milking parlour or automatic milking system to improve management decisions, are already being implemented [FCW20].

3.3 Risks of machine learning in dairy science

As promising as these methods are, they do come at a risk. I would like to point out two issues: 1. Machine learning algorithms require large datasets to make accurate predictions. Furthermore, predictions will predict from the data provided, and thus, it can become a problem if these predictions are primarily created from the data of specific countries. To date we can see that many of the studies in the dairy sector are performed on American and Irish data [Co20]. These two countries present the perfect example to explain why this may become a problem. While most farms in America are large herd operations without grazing, the number of cows per farm in Ireland is lower, and most cows are kept in a full grazing system. Thus, algorithms developed on American data may not show satisfying results for Irish farms and vice versa. 2. Many academics were not trained to apply or evaluate the correct application of machine-learning methods as the application of these methods has only become popular in recent years. However, machine-learning methods are increasingly being applied, because better data has become available through the ongoing development of sensors, smartphone applications and software. Additionally, statistical packages that make it easier to apply machine-learning algorithms have been published on open source programming sites. This implies that it could become difficult for supervisors or reviewers to evaluate the quality of the analysis performed and therefore present a risk to the quality of scientific publications.

3.4 Outlook

Large datasets would bring a great step forward to exploit machine-learning algorithms in dairy science. Data need to be well-described, multifactorial, of high-quality, and freely accessible. Better data would allow developing better algorithms. Recently initiated

projects such as “Dairy Brain” and “Smart Dairy Tracer” are working towards demonstrating the potential of such datasets [FCW20, Al20].

4 Conclusion

Machine-learning has become a part of dairy science and is useful for most fields of dairy management. Hereby, machine-learning algorithms can perform predictions or detect anomalies and therefore improve the management of dairy cows. However, to date only few algorithms are ready for application in practice. Large multiparameter datasets, ideally from many different countries would be required to develop better and more useful algorithms.

References

[Co20] Cockburn, M.: Review: Application and Prospective Discussion of Machine Learning for the Management of Dairy Farms. Animals, 10, 1690, 1-22, 2020.

[JVH18] Jensen, D.B.; van der Voort, M.; Hogeveen, H.: Dynamic forecasting of individual cow milk yield in automatic milking systems. Journal of Dairy Science, 101, 10428–10439, 2018.

[Fa17] Fadul, M.; Christopher, B.; Alsaaod, M.; Hasler, J.; Alexander, S.; Adrian, S.; Hirsbrunner, G.: Prediction of calving time in dairy cattle. Animal Reproduction Science, 187, 37–46, 2017.

[Bo17] Borchers, M.R.; Chang, Y.M.; Proudfoot, K.L.; Wadsworth, B.A.; Stone, A.E.; Bewley, J.M.: Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 100, 5664–5674, 2017.

[Fe17] Fenlon, C.; O’Grady, L.; Mee, J.F.; Butler, S.T.; Doherty, M.L.; Dunnion, J.: A comparison of 4 predictive models of calving assistance and difficulty in dairy heifers and cows. Journal of Dairy Science, 100, 9746–9758, 2017.

[Hy18] Hyland, J.J.; Heanue, K.; McKillop, J.; Micha, E.: Factors influencing dairy farmers’ adoption of best management grazing practices. Land Use Policy, 78, 562–571, 2018.

[Ro17] Rossi, G.; de Leo, G.A.; Pongolini, S.; Natalini, S.; Zarenghi, L.; Ricchi, M.; Bolzoni, L.: The potential role of direct and indirect contacts on infection spread in dairy farm networks. PLOS Computational Biology., 13, e1005301, 2017.

[GML19] Glatz-Hoppe, J.; Mohr, E.; Losand, B.: Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation Second part: Evaluation scheme for the assessment of milk ingredients at farm level. Zuechtungskunde, 91, 449–473, 2019.

[OO17] O’Grady, M.J.; O’Hare, G.M.P.: Modelling the smart farm. Information Processing in Agriculture, 4, 179–187, 2017.

[WVB17] Wolfert, S.; Ge, L.; Verdouw, C.; Bogaardt, M.-J.: Big Data in Smart Farming—A review. Agricultural. Systems. 153, 69–80, 2017.

[KKP17] Kamilaris, A.; Kartakoullis, A.; Prenafeta-Boldú, F.X.: A review on the practice of big data analysis in agriculture. Computer and Electronics in Agriculture, 143, 23–37, 2017.

[FCW20] Ferris, M.C.; Christensen, A.; Wangen, S.R.: Symposium review: Dairy Brain—Informing decisions on dairy farms using data analytics. Journal of Dairy Science, 103, 3874–3881, 2020.

[Al20] Alonso, R.S.; Sittón-Candanedo, I.; García, Ó.; Prieto, J.; Rodríguez-González, S.: An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. Ad Hoc Networks, 98, 102047, 2020.

Entwicklung eines digitalen Tierwohl-Indikator-basierten Beratungstools für die Mastschweinehaltung-PigsAndMore

Katharina Dahlhoff[1], Astrid van Asten[1], Naemi von Jasmund[2], Lisa-Marie Schmidt[2], Felix Austermann[1] und Wolfgang Büscher[2]

Abstract: Die Aspekte einer tier- und umweltgerechten Schweinehaltung stehen seit vielen Jahren im Fokus gesellschaftlicher und politischer Diskussionen. Dennoch fehlen häufig belastbare Methoden, die geeignet sind, die Situation vor Ort im Beratungsfall objektiv zu beschreiben und zu bewerten. Ziel des Forschungsprojektes „PigsAndMore“ war es, ein Decision-Support-System zu entwickeln, das eine systematische und objektive Beurteilung der Tierwohl-Situation in Schweinemastbetrieben ermöglicht. Die betriebsspezifische Analyse setzt sich dabei aus einer vorgeschalteten Screening-Phase, der Erfassung haltungs-, fütterungs- und managementbezogener Betriebsdaten sowie einer Einzeltierbonitur durch geschulte Berater zusammen. Für die Bewertung des Betriebs werden die erhobenen Daten im Rahmen des digitalen Assistenzsystems gebündelt und analysiert. Definierte Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sowie Ziel- und Grenzwerte ermöglichen es, Schwachstellen in Haltung und Management aufzuzeigen. Durch die abschließende Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen wird der Betrieb bei der Verbesserung der Tierwohlsituation unterstützt.

Keywords: Schweine, Tierwohl, Decision-Support-System, tierbezogene Indikatoren

1 Einleitung

Eine tierwohlorientierte und umweltgerechte Schweinehaltung wird seit vielen Jahren von der Gesellschaft gefordert und durch veränderte politische Rahmenbedingungen gefördert. Trotz zahlreicher, etablierter Bewertungssysteme wie [WQ09], [KT16], [AW17], [FL17] fehlen jedoch weiterhin belastbare Methoden und Daten, die geeignet sind, die Tierwohl-Situation vor Ort in den Betrieben objektiv zu erfassen und zu bewerten. Da die bisherigen Methoden vor allem eine wissenschaftliche oder dokumentarische Intention verfolgen, ermöglichen sie die umfassende Beratung von Betrieben einschließlich der Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen nur in eingeschränktem Maße.

In diesem Zusammenhang bestand das Ziel des Projektes PigsAndMore darin, ein softwaregestütztes Decision-Support-System für die Beratung schweinehaltender Betriebe zu entwickeln, mit dem es zukünftig möglich sein soll, betriebsindividuelle Optimierungsvorschläge für eine verbesserte Tierwohl-Situation geben zu können.

[1] Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Fachbereich 71- Tierhaltung und Tierzuchtrecht, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse, 59505 Bad Sassendorf, katharina.dahlhoff@lwk.nrw.de, astrid.vanasten@lwk.nrw.de, felix.austermann@lwk.nrw.de
[2] Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nussallee 5, 53115 Bonn, jasmund@uni-bonn.de, s7lsschm@uni-bonn.de, buescher@uni-bonn.de

2 Material und Methoden

2.1 Ziel und Struktur der Vorgehensweise

Ein wichtiges Ziel des Projektes lag in der Umfänglichkeit der Betriebsanalyse begründet. Diese sollte sich nicht nur auf einen bestimmten Bereich fokussieren, sondern mittels einer Kombination aus verfahrens- und haltungstechnischen, fütterungs- und managementbezogenen sowie einzeltier- und buchtenspezifischen Parametern eine ganzheitliche Bewertung der Betriebssituation zulassen.

Abb. 1 verdeutlicht Aufbau und Methodik des Beratungswerkzeugs. Für den zukünftigen Einsatz ist ein zweimaliger Betriebsbesuch geplant. Der erste Besuch dient zum Aufbau des Screening-Messsystems in der Fokusbucht sowie zur Durchführung des Betriebsinterviews. Im Rahmen des zweiten Besuchs erfolgt der Abbau der Messtechnik sowie die Stall- und Einzeltierbonitur. In einem abschließenden Auswertungsgespräch mit dem Betriebsleiter werden Abweichungen im Benchmarking erläutert und stallspezifische Handlungsempfehlungen aus dem hinterlegten Ursachen- und Maßnahmenkatalog abgeleitet.

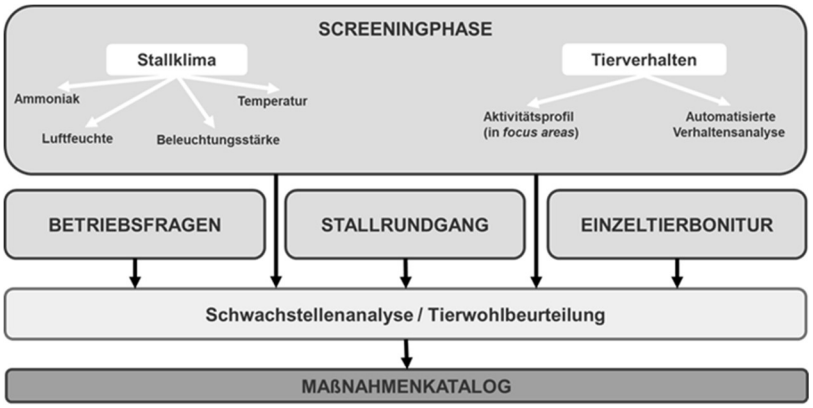


Abb. 1: Aufbau und Komponenten des Decision-Support-Systems im Projekt „PigsAndMore“ (Quelle: [Sc20])

2.2 Screeningphase

Zur automatisierten Erfassung der Stallklima-Situation sowie der Aktivität der Tiere wurde ein mobiles und sensorgestütztes Messsystem entwickelt, das die Ist-Situation ausgewählter Fokusbuchten objektiv und vom Menschen unabhängig aufzeichnete.

Bezüglich der Erfassung des Stallklimas bestand das Messsystem aus einem Ammoniaksensor der Firma Dräger sowie weiteren Raumtemperatur-, Luftfeuchte-, Luftdruck- und

Beleuchtungsstärkesensoren der Firma Ahlborn [Sc20]. Zur Erfassung der Tieraktivität kamen neben einer Videoaufzeichnung auch passive Infrarotsensoren (PID) zum Einsatz. Diese konnten unabhängig von den vorherrschenden Lichtverhältnissen auf der Grundlage thermischer Unterschiede die Aktivität bzw. Bewegung der Tiere messen.

Zur Überprüfung des Decision-Support-Systems in der Praxis wurden von April bis November 2019 elf konventionell wirtschaftende Praxisbetriebe mit einer durchschnittlichen Gruppengröße von maximal 60 Tieren je Bucht untersucht. Für die Screeningphase wurde ein für den Betrieb repräsentatives Abteil (ohne akute Probleme oder besondere Vorkommnisse) ausgewählt, um Daten unter „Normalbedingungen" aufnehmen und die späteren Werte als Referenzwerte nutzen zu können. Die Aufzeichnung und Auswertung der Ergebnisse aus der Fokusbucht erfolgte über mindestens drei 24-Stunden-Tage.

2.3 Bonitursystematik

Nach intensiver Literaturrecherche konnte die Konzeptionierung der Bonitursystematik Ende 2018 abgeschlossen werden. Hierbei wurde auf bereits etablierte Konzepte wie [WQ09], [Br15], [KT16], [FL17] sowie die Expertise aus einem Expertenbeirat zurückgegriffen. Geeignete Parameter wurden ausgewählt und an die speziellen Anforderungen des Beratungszweckes angepasst. Unter der Prämisse einer umfassenden Betriebserhebung bei gleichzeitiger Beachtung des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses und des Arbeitszeitaufwandes insgesamt basiert die Bonitursystematik auf drei Säulen (vgl. Abb. 1):

Das Betriebsinterview enthält die Betriebsstammdaten und alle konstanten baulichen, verfahrenstechnischen und managementbezogenen Informationen (z. B. Fütterungstechnik, Haltungs- und Lüftungssystem, eingesetzte Futtermittel). Im Anschluss an das Interview erfolgt die Datenerhebung im Stall. Stichprobenartig werden nach einem vorgegebenen Auswahlsystem die Ställe, Abteile und Buchten des Betriebes visuell begutachtet, um umfangreiche besuchsindividuelle Informationen wie Angaben zur Tränkehygiene, zur Qualität der Beschäftigungsmaterialien oder zu gruppenbezogenen Gesundheitsparametern (z. B. Husten, Durchfall) zu erhalten. Zudem erfolgt die Bonitur von insgesamt 150 zufällig ausgewählten Mastschweinen aller Altersklassen, die allgemeine Angaben (z. B. Geschlecht, Schwanzlänge) sowie mögliche Verletzungen (z. B. an Ohren, Schwanz, Flanke), Lahmheiten oder Auffälligkeiten der Tiere beinhaltet.

Nach der fachlichen Fertigstellung der Bonitursystematik wurde diese zunächst im Rahmen einer Excel-Anwendung programmiert und für den vereinfachten Testeinsatz in der landwirtschaftlichen Praxis aufbereitet. Zur Sicherstellung der Erfassungsqualität wurden bebilderte Leitfäden erstellt sowie Anwenderschulungen und standardisierte Beobachterabgleiche für Projektmitarbeiter und teilnehmende Berater durchgeführt.

Von Oktober 2019 bis Februar 2020 erfolgte die Testung des „Werkzeugs" in 27 Praxisbetrieben in Nordrhein-Westfalen. Für die Felderhebung wurden konventionell wirtschaftende Betriebe mit einer maximalen Gruppengröße von 60 Tieren und ohne Vorliegen einer aktuellen Problemsituation ausgewählt. Alle besuchten Betriebe verfügten über ein

zwangsbelüftetes Stallsystem, bezüglich der eingesetzten Verfahrenstechniken (Lüftung, Fütterung, Haltung) kamen jedoch alle handelsüblichen Techniken vor. Insgesamt wurden 385 Buchten und 5.550 Schweine bonitiert.

2.4 Programmierung

Parallel zur wissenschaftlichen Bearbeitung erfolgte die software-technische Entwicklung einer Smartphone- und Tablet-basierten Beratungsapplikation. Für die Erfassung der Betriebsdaten wurde auf der Grundlage von C# und Xamarin eine komplexe Cross-Plattform-Applikation entwickelt. Diese ermöglicht es, die notwendige Generik bereitzustellen sowie die komplexen (Betriebs-) Strukturen und vielfältigen Zusammenhänge der einzelnen Indikatoren nachvollziehbar umzusetzen. Durch die Anlage verschiedener Betriebsbesuche (Audits) erhalten die Anwender die Möglichkeit, Folgeberatungen durchzuführen, Betriebsstammdaten zu übernehmen und Änderungen umzusetzen. Definierte Auswahl- und Check-Boxen sowie Bemerkungsfelder mit integrierter Spracherkennung erleichtern die einfache und standardisierte Erfassung. Mit Hilfe von bild- und videogestützten Darstellungen können zudem auch die tierbezogenen Indikatoren sicher und zügig im Praxiseinsatz erhoben werden. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt direkt im Anschluss an die Erfassung im Rahmen einer Excel-GrapeCity-Anbindung. Diese Library ermöglicht es, die Werte aus der Erfassungsmatrix in den Auswertungsteil zu verknüpfen und mit definierten Ziel- und Grenzwerten für die einzelnen Indikatoren abzugleichen. Bei Abweichungen werden diese je nach Handlungsbedarf vom System markiert und als Schwachstelle dargestellt. In einem weiteren Entwicklungsschritt soll zukünftig die Verknüpfung der einzelbetrieblichen Ergebnisse mit einem vorliegenden Ursachen- und Maßnahmenkatalog vorgenommen werden, damit dem Betriebsleiter konkrete, auf die Situation angepasste Handlungsempfehlungen zur Verfügung gestellt werden können.

3 Erste Ergebnisse

Die Screeningphase bot in den elf Untersuchungsbetrieben aufgrund der mehrtägigen Aufzeichnung der Verhaltens- und Stallklimadaten einen Zugewinn an Informationen und ermöglichte die Erstellung von Verlaufskurven und komplexen Analysen im Sinne der Status-quo-Beurteilung von Tierwohl und Stallumwelt. Auch wenn die Ergebnisse zu den Stallklima-Parametern in den Fokusbetrieben sehr heterogen und nur teilweise direkt auf spezielle Produktions- und Verfahrenstechniken sowie Managementmaßnahmen zurückzuführen waren, konnte festgestellt werden, dass vor allem zu geeigneten Maßnahmen zur Verbesserung der Raumluftqualität (z. B. Ammoniakkonzentration) sowie zur Steuerung von Lichtprogrammen auf Abteilebene Beratungsbedarf bestand [Sc20].

Zudem konnte auf Grundlage der installierten PID für die Fokusbuchten ein gruppenspezifisches Aktivitätsprofil erstellt werden, das wichtige Informationen über die Ruhe- und Aktivitätsphasen der Schweine im Tagesverlauf lieferte (vgl. Abb. 2). Zukünftig soll die

Screeningphase im Beratungseinsatz auch einzelfallorientiert in Buchten mit akutem Problemgeschehen durchgeführt werden, so dass ein deutlicher Zusatznutzen erzielt und dem erhöhten Kosten- und Zeitaufwand Rechnung getragen wird.

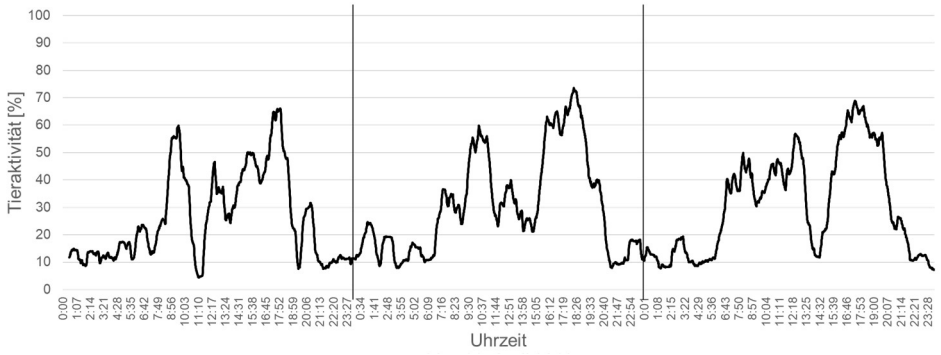


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung eines Aktivitätsprofils einer Mastschweinegruppe auf Buchtenebene über 72 Stunden (Quelle: [Sc20])

Bei der Entwicklung des Tierwohl-Indikator-basierten Beratungstools wurde besonderes Augenmerk auf die Implementierung geeigneter einzeltier- und gruppenbezogener Indikatoren gelegt. Im Rahmen der Felderhebungsphase konnten in 30,6 % der 385 bonitierten Buchten vereinzelt hustende Tiere und in 13,5 % vermehrtes Niesen der Tiere festgestellt werden. Kümmerer sowie Tiere mit tränenden Augen wurden in 0,5 % bzw. 9,8 % der bonitierten Buchten beobachtet. Auf Einzeltierebene wiesen 91,55 % der Schweine keine Hautläsionen im Bereich des Körpers auf. Das Merkmal „schwere Hautläsionen“ (> 15 strichförmige Verletzungen mit ≥ 5 cm Länge und / oder flächige Verletzung mit Durchmesser ≥ 2,5 cm) kam lediglich bei einem Anteil von 1,98 % der Tiere vor. Die häufig mit einer Tierschutzproblematik einhergehenden Verletzungen der Körperregionen Ohren und Schwänze der Tiere wurden hinsichtlich der Parameter Teilverluste und Verletzungen bewertet. Bei 90,05 % der bonitierten Tiere gab es keinerlei Teilverluste der Ohren zu verzeichnen, dagegen konnte bei 5,67 % der Ohren ein Durchbrechen der Haut festgestellt werden (flächige Veränderung des Ohrrandes und /oder strichförmige Verletzungen ≥ 5 cm). Die Schwänze waren zu 95,98 % intakt (Teilverluste 3,42 %, Vollverluste 0,6 %), wobei ein Durchbrechen der Haut an 6,18 % der bonitierten Schwänze auftrat.

Die Daten der Einzeltierbonitur sollen zusammen mit einschlägigen Angaben aus der Fachliteratur als erste Ziel-, Grenz- und Vergleichswerte für das (überbetriebliche) Benchmarking herangezogen und geprüft werden. Zudem ist im Rahmen einer geplanten multivariaten Auswertung die Zuordnung der Schwachstellen zu potentiellen Risikofaktoren und speziellen haltungs- und managementbezogenen Ursachen vorgesehen. Durch weitere Zusammenhänge und Korrelationen können Ursachenbereiche identifiziert und entsprechende Optimierungsempfehlungen für die unterschiedlichen Szenarien definiert werden.

4 Fazit und Ausblick

Das Decision-Support-System „PigsAndMore“ bietet zukünftig eine standardisierte und wissenschaftlich fundierte Dokumentations- und Bewertungsgrundlage für vielfältige Anwendungsbereiche von der betrieblichen Eigenkontrolle über die Auditierung von Betrieben bis hin zur einzelbetrieblichen Best-Practise- oder High-End-Tierwohl-Beratung. Dabei spielt u.a. die (status-quo- oder problemorientierte) Screeningphase als Alleinstellungsmerkmal eine wichtige Rolle, um einen erhöhten Informationsgewinn und Gesamtnutzen in der Schwachstellenanalyse zu erreichen.

Im weiteren Entwicklungsprozess werden neben der technischen und fachlichen Validierung zudem die Anbindung und Verknüpfung der Ergebnisse aus „PigsAndMore“ mit weiteren externen Daten (z. B. aus dem Fütterungs- oder Stallklimacomputer, Schlachtdaten) im Vordergrund stehen. Dazu ist die Schaffung geeigneter Schnittstellen erforderlich, um eine möglichst umfassende, integrierte und anwenderfreundliche Auswertung der relevanten Informationen zur Unterstützung der Betriebe zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

[AW17] AssureWel Pigs: Finishing pigs Assessment Protocol, http://www.assurewel.org/pigs, Stand: 20.06.2017.

[Br15] Brocke, A.L.v. et al.: Training veterinarians and agricultural advisers on a novel tool for tail biting prevention. Veterinary Record Open 2, Link: http://vetrecordopen.bmj.com/content/2/1/e000083.abstract

[FL17] Friedrich-Loeffler-Institut: Deutscher Schweine-Boniturschlüssel (DSBS), https://www.fli.de/fileadmin/FLI/ITT/Deutscher_Schweine_Boniturschluessel_2017-06-30_de.pdf, Handreichung vom 30.05.2017, Stand: 03.11.2020.

[Ja20] Jasmund, N.v. et al.: Using Passive Infrared Detectors to Record Group Activity and Activity in Certain Focus Areas in Fattening Pigs; in Animals 2020, 10, 792; doi:10.3390/ani10050792

[Sc20] Schlussbericht zum Verbundprojekt “PigsAndMore” – Entwicklung eines Tierwohl-Indikator-basierten Beratungstools für die Schweinehaltung, 14.12.2020

[KT16] KTBL-Praktikerleitfaden: Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis – Schwein. Vorschläge für die Produktionsrichtungen Sauen, Saugferkel, Aufzuchtferkel und Mastschweine, KTBL Darmstadt, 2016.

[WQ09] Welfare Quality® 2009: Welfare Quality® assessment protocol for pigs, http://www.welfarequality.net/media/1018/pig_protocol.pdf, Stand: 20.06.2017.

Technologische Umsetzung des Resilient Smart Farming (RSF) durch den Einsatz von Edge Computing

Daniel Eberz-Eder[1], Franz Kuntke[2], Wolfgang Schneider[1] und Christian Reuter[2]

Abstract: Edge Computing bietet die Möglichkeit zur Realisierung von Resilient Smart Farming (RSF). Die vorliegende Arbeit setzt sich mit Möglichkeiten der möglichst ausfallsicheren Digitalisierung der Landwirtschaft als kritischer Infrastruktur auseinander und zeigt auf, dass dezentrale Lösungen des Edge Computing inzwischen innovative technologische Möglichkeiten zur Realisierung von RSF bieten. Die Vorteile der lokalen Datenverarbeitung am Entstehungsort in Kombination mit einer regionalen Vernetzung bieten neue Möglichkeiten im Zeitalter von 5G-Infrastrukturen und dem Einsatz von IoT-Sensornetzwerken. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf Edge Computing als Technologie zur Umsetzung eines resilienten Smart Farming.

Keywords: Resilient Smart Farming, Resilienz, Edge Computing, Dezentralisierung, IoT

1 Einleitung

Cloud Computing bezeichnet im Allgemeinen die Auslagerung von Rechen- und Datenkapazitäten in entfernte Rechenzentren. Edge Computing hingegen bezeichnet die Verlagerung der Rechenkapazitäten zurück in Richtung des Endanwenders, um beispielsweise Transportwege und -zeiten im Netzwerk zu minimieren [Sh16]. Da für immer mehr Anwendungen Latenzen und auch Aspekte der Datenhoheit sowie eine sparsame Nutzung der Netzwerkinfrastruktur eine Rolle spielen, wird sich kurz- bis mittelfristig das Edge Computing auch für diverse landwirtschaftliche Anwendungen etablieren. Begründet ist dies u.a. durch die zunehmenden Möglichkeiten in dem Bereich der Sensortechnologien im Rahmen des Internet of Things (IoT) für landwirtschaftliche Zwecke [Tz17]. Die starke Zunahme an erfassten Daten wird dabei immer mehr zum Problem für Ansätze, die auf klassischen Serveranwendungen in zentralen Rechenzentren (Cloud Computing) basieren – sowohl aufgrund von technischen Limitierungen seitens der Netzwerkinfrastruktur als auch durch gesellschaftliche und regulatorische Anforderungen z. B. durch einen sensibleren Datenschutz und ein gesteigertes Bedürfnis an Vertraulichkeit und Privatsphäre. Das Edge Computing als nächste Stufe im Bereich

[1] Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, 55545 Bad Kreuznach, daniel.eberz@dlr.rlp.de, wolfgang.schneider@dlr.rlp.de
[2] Technische Universität Darmstadt, Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), 64289 Darmstadt, kuntke@peasec.tu-darmstadt.de https://orcid.org/0000-0002-7656-5919, reuter@peasec.tu-darmstadt.de https://orcid.org/0000-0003-1920-038X

der netzwerkbasierten Datenverarbeitung wird dabei immer mehr in den Vordergrund rücken. Dieses Paradigma unterstützt dabei das Management dezentraler und offlinefähiger Edge Devices. Berücksichtigt man diese Möglichkeiten in landwirtschaftlichen Kontexten, so kann dies zu Resilient Smart Farming (RSF) führen. Darunter verstehen wir die Kombination von *Smart Farming*, d. h. dem Einsatz intelligenter Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), verbunden mit *Resilient Farming*, d. h. dem Einsatz resilienter IKT, d. h. der Fähigkeit von technischen Systemen, auch bei Störungen gewisse Systemdienstleistungen aufrechtzuerhalten. Dies kann folglich die Ausfallsicherheit digitaler Systeme in der Landwirtschaft stärken. Gerade in eigentlich stabilen Systemen ist Resilienz von großer Relevanz. Dies macht nicht zuletzt das Verletzlichkeitsparadoxon deutlich: *„In dem Maße, in dem ein Land in seinen Versorgungsleistungen weniger störanfällig ist, wirkt sich jede Störung umso stärker aus"* [BI09].

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die anwendungsorientierte Erarbeitung möglicher Szenarien zur Einführung eines innovativen und resilienten Edge Computings in der Landwirtschaft. Diese neuen Technologien zur Dezentralisierung und Absicherung von internetbasierten Anwendungen verlagern die Datenhaltung zurück in die Betriebe und dienen damit der Datenhoheit der Landwirte.

2 Technologische Beschreibung Edge Computing

Shi et al. [Sh16] definieren Edge Computing als die Datenverarbeitung an der „Kante" (engl. *edge*) des Internets, d. h. die Datenverarbeitung zwischen den Endgeräten und den großen Rechenzentren (siehe Abb. 1). Die technologischen Vorzüge des Edge Computings gegenüber dem Cloud Computing (siehe Abb. 2) liegen vorrangig in der Effizienz der Datenverarbeitung, wenn diese in der Nähe der Entstehung der Daten geschieht. Vor Edge Computing gab es bereits andere Bemühungen, die Datenverarbeitung aus der Cloud zu lösen, dazu zählen Cloudlets [Sa09] und Fog Computing [Bo12]. Shi et al. [Sh16] heben in ihrer Arbeit drei Gründe hervor, die für Edge Computing sprechen:

1) Loslösen von Cloud Services: Berechnungen in der Cloud durchzuführen sei zwar reizvoll, allerdings sind die Netzwerkkapazitäten nicht in gleichem Maße mit der

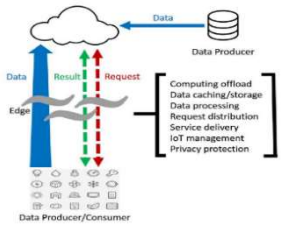


Abb. 1: Edge Computing, aus [Sh16]

steigenden Rechenkraft der Rechenzentren für die Verarbeitung anfallender Daten

gestiegen. Durch die enorme Zunahme an Daten, die pro Sekunde generiert werden können, seien nun die Netzwerkverbindungen der Flaschenhals. Abgesehen von der Belastung der Netzwerkinfrastruktur werden ebenso die Cloud-Anwendungen selbst benachteiligt, beispielsweise durch hohe Antwortzeiten, bedingt durch mangelnde Bandbreite.

2) Sogwirkung durch Internet of Things (IoT): Nahezu jede Kategorie elektrischer Geräte würde Teil des IoT werden und folglich Daten produzieren. Daraus entstünden gleich mehrere Anforderungen, unter anderem die Anforderung an Datenschutz, die ein Hindernis darstellt für die Verarbeitung von IoT-Daten in der Cloud.

3) Wechsel vom Datenkonsument zum -produzent: Bei dem Paradigma hinter Cloud-Computing seien Endgeräte typischerweise Konsumenten, z. B. Smartphones, die YouTube-Videos abspielen. Allerdings seien die Geräte der Anwender auch Produzenten von Daten, z. B. wenn ein Video erstellt und auf den YouTube-Server geladen wird. In solchen Fällen könnte die Vorverarbeitung, inkl. Komprimierung der Daten, bereits durch Edge Computing geschehen und nicht erst in der Cloud, was folglich die Netzwerkressourcen weniger belastet. Zu den Vorteilen des Edge Computing zählen (1)

Abb. 2: Cloud Computing Paradigma, aus [Sh16]

die effizientere Nutzung von Netzwerkressourcen, wenn die zu übertragenden Daten bereits vor Übertragung gefiltert oder komprimiert werden [Wa18], (2) ein möglicher reduzierter Energieverbrauch durch geringere Last seitens der Netzwerktechnik bei den Endgeräten [Ch11], sowie (3) ein gesteigerter Datenschutz, wenn anfallende Daten direkt verarbeitet und de-personalisiert werden, bevor es zu einer Übermittlung und Speicherung in der Cloud kommt, bzw. die Daten überhaupt nicht weiter im Netzwerk verbreitet werden müssen [Sh16]. Die Nachteile des Edge Computing sind durch die komplexere Struktur bedingt und beinhalten (1) höhere initiale Kosten durch Erweiterung der Infrastruktur, (2) gesteigerte Anforderungen an Pflege und Wartung des Gesamtsystems, sowie (3) eine größere Angriffsoberfläche für böswillige Angreifer. Aspekte der Offlinefähigkeit und Stärkung der Resilienz von Prozessen, die stark von digitalen Werkzeugen abhängen, wurden in der wissenschaftlichen Literatur bisher wenig betrachtet. Wir sehen hier jedoch ein großes Potenzial, besonders im Rahmen landwirtschaftlicher Anwendungen.

3 Edge Computing in der Landwirtschaft am Beispiel des Resilient Smart Farming

Der Fokus der deutschen Landwirtschaft liegt insbesondere auf der präzisen und nachhaltigen Bewirtschaftung des Bodens. Die Digitalisierung bietet vielfältige Chancen, dem anhaltenden Strukturwandel in der Landwirtschaft entgegenzuwirken. Intelligente digitale Systeme in der Landwirtschaft können die Landwirte entlasten, indem sie operative Arbeiten oder Entscheidungen unterstützen. Smart Farming betrachtet Automatisierungstechnologien sowie die Erfassung, Verarbeitung und Analyse von Daten in Echtzeit [Ka17]. Die derzeit auf dem Markt verfügbaren Dienstleistungen und Produkte sind dabei durch die Funktionsweise des Cloud Computing geprägt. Die Daten werden folglich auf Server in Rechenzentren ausgelagert. In der landwirtschaftlichen Praxis werden internetabhängige und oftmals hochleistungsbasierte Anwendungen nicht selten durch unzureichende Bandbreiten und hohe Latenzzeiten eingeschränkt. Zusätzlich stellt sich die Frage der Datenhoheit. Das Vertrauen in den sorgsamen Umgang mit den eigenen Daten seitens der Serverbetreiber ist notwendig.

Eine mögliche Gegenmaßnahme, um die Gefahren des Cloud Computing zu adressieren, kann die Nutzung eigener, unabhängiger Systeme sein. Wenn ein solches System grundsätzlich ohne Internetanbindung nutzbar ist, sprechen wir von einem „Offline-First"-System, z. B. die „HofBox" [Re18]. Die Nutzung solcher resilienter Komponenten führt dabei zu einem Resilient Smart Farming (RSF), welches die Vorteile der Digitalisierung mit entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen kombiniert, wodurch ein Regelbetrieb auch bei Störfällen seitens der IT-Landschaft (z. B. Störung/Ausfall der Internetanbindung) ermöglicht wird. Daten und Entscheidungen durch Prozesse des Internet of Things (IoT) sollen so weit wie möglich in Echtzeit verarbeitet werden, was bei steigender Geräteanzahl ein Erfordernis an Edge Computing in der Landwirtschaft darstellt. Mit geeigneten Ansätzen ließe sich dies flächendeckend zum Einsatz bringen, z. B. durch ein digitales Ökosystem, wie es die GeoBox-Infrastruktur [Ku20] zum Ziel hat.

4 Resilient Edge Computing

Georeferenzierte Daten sind ein hohes Gut für landwirtschaftliche Betriebe. Um die Wertschöpfung auf den landwirtschaftlichen Betrieben zu halten, ist eine dezentrale

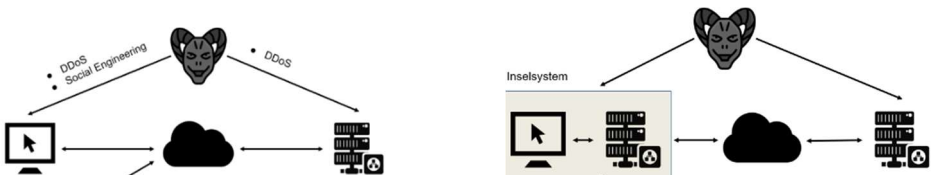


Abb. 3: Angriffsszenarien (links) und Lösungen durch die REC-Inselnetzfähigkeit (rechts), aus [Re18]

Datenhaltung erforderlich. Ein Resilient Edge Computing (REC) mit zentralen Komponenten, die sich im Besitz des Betriebs befinden, erfüllt nicht nur die Forderungen der Landwirte nach Datenhoheit und Ausfallsicherheit, sondern kann durch vernetzte Sensornetzwerke (z. B. per LoRa-/WAN) bei Internetausfällen im günstigsten Fall auch zur Notkommunikation im ländlichen Raum genutzt werden. Im Zusammenspiel mit regionalen Erzeugernetzwerken kann somit REC die gesellschaftlich relevante Daseinsvorsorge gemäß Ernährungssicherstellungs- und -vorsorgegesetzes (ESVG) unterstützen. Darüber hinaus liefert die intensive Verwendung von regionalen Sensordaten beim Smart Farming den Landwirten verbesserte Entscheidungsgrundlagen und eröffnet den für Umwelt- und Klimaschutz verantwortlichen Verwaltungsorganen neue Handlungsspielräume. REC soll nun die technologischen Anforderungen an eine resiliente Infrastruktur gewährleisten, indem es vor allem die Aspekte der Offline-Fähigkeit hervorhebt und als zentrale Eigenschaft in die Systemarchitektur aufnimmt. Ansätze sind vor allem in sogenannten Cloudlets zu finden. Dabei soll REC auf digitale Lösungen des Bereichs Open Source setzen, um eine Pflege und Wartung unabhängig von einzelnen Unternehmen zu gewährleisten. Als Pilot-Projekt für REC wird derzeit auf Grundlage des Open-Source-Frameworks Open Horizon die technische Machbarkeit auf landwirtschaftlichen Betrieben getestet. Open Horizon bietet die Möglichkeit, eine Vielzahl an Edge-Devices ohne physischen Zugang zu den Geräten zu warten, mittels bestehender und erprobter Orchestrierungswerkzeuge. In naher Zukunft soll im sogenannten Resilient Smart Farming Lab ein dynamisches Setup entstehen und ausgiebig getestet werden. Dabei werden zunächst Edge-Devices auf Basis von Einplatinenrechnern (Raspberry Pi und Jetson Nano) eingesetzt, deren Anwendungskontexte über Docker-Container mit Hilfe von Open Horizon verteilt werden.

5 Fazit

Durch den Aufbau dezentraler Edge-Rechenzentren für regionale IoT-Sensornetzwerke unterstützen wir ein digitales Ökosystem zur regionalen und resilienten Vernetzung des Smart Farmings. Resilient Edge Computing (REC) setzt hierbei den Fokus auf die u. a. von der Agrarministerkonferenz geforderte Resilienz und Ausfallsicherheit der landwirtschaftlichen Produktion. Dabei dient die GeoBox-Infrastruktur als Basis und wird um Merkmale eines resilienten Edge Computing erweitert. Die Einführung von 5G-Kommunikationsnetzen in der Landwirtschaft und deren Bedeutung für die Landwirtschaft in Zukunft verstärken die Notwendigkeit von lokalen Rechenprozessen in Edge-Devices. Mit der von der Linux Foundation verwalteten Open Source Software „Open Horizon“ steht der Infrastruktur ein Edge-Framework zur Verfügung, das die Automatisierung von Softwareinstallation und Datensynchronisation auf Tausenden von Edge-Devices (z. B. HofBox-Miniservern) ermöglicht. Eine derartig resiliente, digitale Infrastruktur zur Dezentralisierung und Regionalisierung muss in der KRITIS „Ernährung und Landwirtschaft“ u. a. aus Gründen des Ernährungssicherstellungs- und -vorsorgegesetzes (ESVG) koordiniert und flächendeckend eingeführt werden. Für ein solches Szenario könnte die Etablierung einer Public-Private-Partnership ein mögliches

Instrument darstellen, um die Infrastruktur flächendeckend robust und vielfältig vernetzt auszugestalten.

Danksagung: Das Projekt *Standardisierung der Geobox-Infrastruktur* wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert.

Literaturverzeichnis

[Bo12] Bonomi, Flavio; Milito, Rodolfo; Zhu, Jiang; Addepalli, Sateesh: Fog computing and its role in the internet of things. In: MCC'12 - Proceedings of the 1st ACM Mobile Cloud Computing Workshop, S. 13–15, 2012.

[BI09] Bundesministerium des Innern: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie), 2009.

[Ch11] Chun, Byung Gon; Ihm, Sunghwan; Maniatis, Petros; Naik, Mayur; Patti, Ashwin: CloneCloud: Elastic execution between mobile device and cloud. In: EuroSys'11 - Proceedings of the EuroSys 2011 Conference, S. 301–314, 2011.

[Ka17] Kamilaris, Andreas; Gao, Feng; Prenafeta-Boldu, Francesc X.; Ali, Muhammad Intizar: Agri-IoT: A semantic framework for Internet of Things-enabled smart farming applications. In: 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, S. 442–447, 2016.

[Ku20] Kuntke, Franz; Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Eberz, Daniel; Bernardi, Ansgar: Die GeoBox-Vision: Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. In: Mensch und Computer 2020 - Workshopband, S. 1–6, 2020.

[Re18] Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Eberz, Daniel; Bayer, Markus; Hartung, Daniel; Kaygusuz, Cemal: Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft-mobil, dezentral, ausfallsicher. In: Mensch und Computer 2018 - Workshopband, S. 623–632, 2018.

[Sa09] Satyanarayanan, M.; Bahl, P.; Caceres, R.; Davies, N.: The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing. In: IEEE Pervasive Computing Bd. 8, Nr. 4, S. 14–23, 2009.

[Sh16] Shi, Weisong; Cao, Jie; Zhang, Quan ; Li, Youhuizi; Xu, Lanyu: Edge Computing: Vision and Challenges. In: IEEE Internet of Things Journal Bd. 3, IEEE, Nr. 5, S. 637–646, 2016.

[Tz17] Tzounis, Antonis; Katsoulas, Nikolaos; Bartzanas, Thomas; Kittas, Constantinos: Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. In: Biosystems Engineering Bd. 164, Elsevier Ltd, S. 31–48, 2017.

[Wa18] Wang, Junjue; Feng, Ziqiang; Chen, Zhuo; George, Shilpa; Bala, Mihir ; Pillai, Padmanabhan; Yang, Shao Wen ; Satyanarayanan, Mahadev: Bandwidth-efficient live video analytics for drones via edge computing. In: Proceedings - 2018 3rd ACM/IEEE Symposium on Edge Computing, IEEE, S. 159–173, 2018.

Extraktion von Bewegungsparametern aus Positionsdaten von Milchkühen

Christiane Engels[1] und Wolfgang Büscher[1]

Abstract: Trackingsysteme für die Indoor-Ortung von Milchkühen finden vermehrt Einsatz in Milchviehbetrieben. Diese sollen die Tiere im Stall lokalisieren und eine digitale Verhaltensbeobachtung ermöglichen. Die Auswertung der anfallenden Rohdatenmenge stellt allerdings eine Herausforderung dar. Um aus den Positionsdaten Informationen über Brunst- und Gesundheitsereignisse abzuleiten, berechnen wir aus den Rohdaten komprimierte Rasterzellendaten. Daraus können zur weiteren Analyse Bewegungsparameter extrahiert werden.

Keywords: Indoor-Ortung, Milchvieh

1 Einleitung

Im Zuge der Digitalisierung der Landwirtschaft werden auch in der Milchviehhaltung vermehrt Sensorsysteme im Stall eingesetzt. Neben einer Automatisierung steht dabei zunehmend der Tierwohlaspekt im Fokus. So können Sensorsysteme die Landwirte beispielsweise bei der Bestandsbetreuung durch digitale Tierbeobachtung und in der Entscheidungsfindung unterstützen. Trackingsysteme, welche die Tiere und deren Verhalten im Stall lokalisieren, gewinnen dabei immer mehr an Bedeutung. Diese generieren eine Vielzahl an Datenpunkten, werden aber oftmals nur dazu genutzt, um eine Navigation zum Tier zu ermöglichen. Wir sehen großes Potenzial in solchen Raum-Zeit-Daten, die ähnlich wie Sensordaten aus Bewegungs- oder Beschleunigungssensoren dazu genutzt werden können, Rückschlüsse auf Brunstereignisse und die Gesundheitssituation eines Tieres zu ziehen. Zusätzlich zur Bewegungsaktivität bieten Trackingsysteme eine räumliche Zuordnung der Bewegung im Stall. Allerdings stellt sich die Herausforderung, die oftmals hohe „Flut“ an Rohdaten zu verarbeiten und relevante Informationen daraus abzuleiten. Im Folgenden stellen wir eine Methode vor, um Bewegungsparameter aus den Positionsdaten von Milchkühen zu extrahieren.

[1] Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nußallee 5, 53115 Bonn, christiane.engels@uni-bonn.de, buescher@uni-bonn.de

2 Material und Methoden

2.1 Datenerhebung

In der vorliegenden Studie wurden Positionsdaten des Real-Time Locating Systems (RTLS) *CowView* der Firma GEA Farm Technologies GmbH vom 01.10. – 31.12.2019 ausgewertet. Die Daten wurden auf der Lehr- und Versuchsstation Frankenforst der Universität Bonn in einem zweireihigen Liegeboxenlaufstall erhoben. Den 60 Milchkühen der Rasse Holstein-Friesian standen 66 Liegeboxen (Liegeplatzverhältnis 1:1) und 30 Wiegetröge der Firma INSENTEC B. V. (Fressplatzverhältnis 2:1) zur Verfügung. Zusätzlich zum CowView-Transponder am Halsband der Tiere waren die Kühe mit einem Pedometer (ebenfalls Fa. GEA) zur Messung der täglichen Aktivitätsimpulse ausgestattet. Die Positionsdaten wurden vom RTLS mit einer Frequenz von 1 Hz aufgenommen, was – im Idealfall – 86.400 Positionsbestimmungen pro Kuh und Tag entspricht. Die Genauigkeit des Systems liegt laut Herstellerangaben unter 0,5 m, welche in Studien bestätigt wurde [VMS17]. Während des analysierten Zeitraums befanden sich 39 Tiere durchgehend im Stall, deren Positionsdaten ausgewertet wurden. Aufgrund von Datenausfällen konnten die Daten von acht Tagen nicht verwendet werden, sodass insgesamt Positionsdaten von 84 Tagen ausgewertet wurden. Während des 2x täglichen Melkens (ca. 6:00 Uhr und 16:30 Uhr) konnten die Tiere nicht vom RTLS erfasst werden, sodass der gesamte Melkvorgang inkl. Wartezeit im Wartehof ebenfalls von der Auswertung ausgeschlossen wurde.

2.2 Datenauswertung

Für die Auswertung wurden die Rohdaten (Transponder-ID, Position, Zeitstempel) zunächst komprimiert. Dazu wurden verschiedene regelmäßige Raster über die Stallfläche gelegt, um diese in Rasterzellen zu unterteilen. Getestet wurden die Rastergrößen 2 m x 2 m, 3 m x 3 m und 5 m x 5 m. Daraus ergeben sich jeweils 168, 80 und 30 Rasterzellen für den Stall der Versuchsstation Frankenforst (48 m x 13,2 m). Jeder dieser Rasterzellen wurde anschließend ein (Haupt-)Funktionsbereich „Fressen“ (und Saufen), „Liegen“ oder „Laufen“ zugeordnet.

Die Rohdaten wurden so prozessiert, dass zusammenhängende Aufenthalte innerhalb einer Rasterzelle zu einem Datenpunkt mit entsprechender Zeitdauer zusammengefasst wurden. Dabei wurden Ausreißer von unter 15 s aus einer Rasterzelle heraus geglättet und eine Toleranz um die Rasterzelle zugelassen. Die Toleranz ist sowohl der Größe der Rasterzellen als auch der Genauigkeit des Systems angepasst und beträgt ± 0,4 m, ± 0,5 m bzw. ± 1,0 m für die drei untersuchten Rastergrößen. Dadurch sollen kleinere Kopfbewegungen der Tiere und Ungenauigkeiten des Ortungssystems herausgefiltert werden. Die Bewegung einer Kuh durch den Stall wird durch den Wechsel der Rasterzelle registriert.

Die extrahierten Rasterzellendaten (Kuh, Rasterzelle, Startzeitpunkt, Endzeitpunkt) wurden zur weiteren Verarbeitung in einer Datenbank gespeichert. Daraus wurden verschiedene Bewegungsparameter berechnet:

- Die Anzahl der Rasterdatenpunkte pro Kuh und Tag
- Die Anzahl der Rasterdatenpunkte pro Kuh, Tag und Funktionsbereich
- Die Aufenthaltsdauer pro Rasterzelle pro Kuh und Tag
- Die Aufenthaltsdauer pro Funktionsbereich pro Kuh und Tag
- Die Gesamtanzahl betretener Rasterzellen pro Kuh und Tag
- Die Anzahl betretener Rasterzellen pro Funktionsbereich pro Kuh und Tag

Die Anzahl betretener Rasterzellen wurde dabei ähnlich wie in [Vá18] berechnet. So wurde zum einen die Anzahl aller betretenen Rasterzellen ermittelt. Zusätzlich wurden zwei Schwellwerte verwendet, um die 95 % und 50 % Isoplethe abzubilden. Diese wurden auf 1 min und 15 min festgelegt.

Da jeder Rasterdatenpunkt einen Ortswechsel aus der vorherigen Rasterzelle angibt, soll die Anzahl der Datenpunkte als Maß für die Bewegungsaktivität der Tiere dienen. Um dies zu überprüfen, wurde eine Korrelation mit der vom Pedometer ermittelten Aktivitätsrate durchgeführt.

Bei der Auswertung sollten zudem die verschiedenen Rastergrößen miteinander verglichen werden.

Neben einzeltierspezifischen Auswertungen wurde auch die Raumnutzung der Herde für den Versuchszeitraum analysiert.

3 Ergebnisse

Durch die Datenvorverarbeitung in Rasterzellen konnte die Datenmenge pro Kuh und Tag von durchschnittlich 55.111 Rohdatenpunkten deutlich reduziert werden auf 818,9 (2 m), 509,3 (3 m) bzw. 225,7 (5 m) Rasterdatenpunkte. Dies entspricht einer Kompressionsrate von 74,7 – 271,3. Die Zeitbudgets in den jeweiligen Funktionsbereichen können aufgrund der Zuordnung der Rasterzellen zu einem (Haupt-)Funktionsbereich weiterhin berechnet werden. Mit zunehmender Rastergröße wird diese Zuordnung allerdings grober, da sich beispielsweise in einer Rasterzelle der Größe 5 m x 5 m Liegeboxen und ein Teil des Laufgangs befinden können. Bei den kleineren Rastergrößen ist aufgrund der Maße der Stalleinrichtung (z. B. Liegeboxenlänge von 2,65 m) eine Zuordnung eindeutig möglich.

Korreliert mit der mittleren Aktivitätsrate des Pedometers ergeben sich mäßige Korrelationskoeffizienten von r = 0,53 – 0,59 für die Anzahl der Rasterdatenpunkte als Maß für die Aktivität der Kühe (vgl. Tab. 1). Eingeschränkt auf Kühe in höheren

Laktationen (≥ 3) erhält man höhere Korrelationskoeffizienten von bis zu r = 0,71. Dies könnte durch die aus der Literatur bekannte verringerte Aktivität von älteren Kühen bedingt sein.

Rastergröße	Gesamtanzahl Rasterdatenpunkte		Rasterdatenpunkte „Laufen“	
	alle Kühe	Lakt. ≥ 3	alle Kühe	Lakt. ≥ 3
2 m x 2 m	0,54	0,61	0,57	0,68
3 m x 3 m	0,57	0,62	0,58	0,71
5 m x 5 m	0,59	0,65	0,53	0,51

Tab. 1: Korrelationskoeffizienten zwischen der mittleren Aktivitätsrate des Pedometers und der Gesamtanzahl der Rasterdatenpunkte bzw. der Rasterdatenpunkte im Funktionsbereich „Laufen“ für alle Kühe und Kühe in Laktation ≥ 3

Interessant ist, dass die Anzahl der Rasterdatenpunkte im Funktionsbereich „Laufen“, wo die meiste Bewegungsaktivität stattfindet, die Aktivitätsrate des Pedometers tatsächlich besser widerspiegelt als die Gesamtanzahl der Rasterdatenpunkte. Eine Ausnahme bildet das 5-m-Raster, da dort die Zuordnung zu den Funktionsbereichen gröber ist.

So können auf Basis der täglichen Rasterdatenpunkte im tierindividuellen Vergleich Brunstereignisse detektiert werden. In Abbildung 1 ist beispielhaft der Verlauf der täglichen Rasterdatenpunktanzahl für Kuh 1527 dargestellt. Am 08.10.2019 und am 02.11.2019 sind Brunstereignisse zu erkennen.

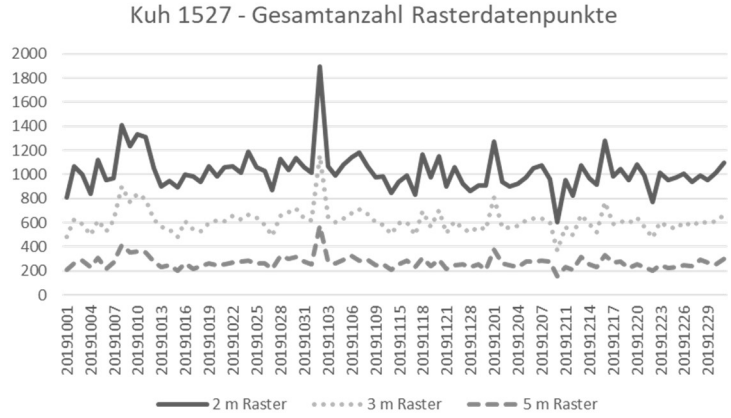


Abb. 1: Verlauf der Gesamtanzahl Rasterdatenpunkte für Kuh 1527 über den Versuchszeitraum

Die Anzahl betretener Rasterzellen konnte in diesem Versuch nicht mit Lahmheiten oder Klauenbehandlungen der Kühe in Verbindung gebracht werden. Über den Tag verteilt

nutzten die Tiere in Durchschnitt zwischen 77 – 88 % der Rasterzellen in den verschiedenen Rastergrößen.

Bei der Analyse der Raumnutzung der gesamten Herde konnte festgestellt werden, dass die Wandliegeboxen gegenüber der mittleren Liegeboxenreihe stark bevorzugt wurden. Die durchschnittliche Liegezeit ist dort 1,55-fach höher. Bei den Wiegetrögen konnten für die gesamte Herde keine Präferenzen in der Nutzung festgestellt werden. Allerdings verbrachten manche Kühe über 20 % ihrer Aufenthaltsdauer im Funktionsbereich „Fressen“ in einer bestimmten Rasterzelle dieses Funktionsbereichs.

4 Ausblick

Wir erhoffen uns, zukünftig aus den extrahierten Bewegungsparametern und den Abweichungen zum tierindividuellen „Normalverhalten“ neben Brunstereignissen auch Rückschlüsse auf Gesundheitsereignisse der Milchkühe zu ziehen. So deutet sich beispielsweise in Abbildung 1 durch den Rückgang der Rasterdatenpunktanzahl eine Mortellaro-Behandlung am 10.12.2019 an. Das Ziel ist, mithilfe solcher Ableitungen die Kühe frühzeitig behandeln und somit das Tierwohl steigern zu können.

Literaturverzeichnis

[Vá18] Vázquez Diosdado, J. A.; Barker, Z. E.; Hodges, H. R. et al.: Space-use patterns highlight behavioural differences linked to lameness, parity, and days in milk in barn-housed dairy cows. PLoS ONE 13(12): e0208424, 2018.

[VMS17] Veissier, I.; Mialon, M.; Sloth, K.: Short Communication: Early modification of the circadian organization of cow activity in relation to disease or estrus. Journal of Dairy Science 100, pp. 3969–3974, 2017.

Datenanalyse, statistische Methoden und Ensemble-Postprocessing zur Entscheidungsunterstützung bei der Feldbearbeitung

Jochen Fiedler[1] und Michael Burger[2]

Abstract: Im Rahmen des Fraunhofer Leitprojekts COGNAC arbeiten wir an der Integration von verschiedenen Datenquellen, um die Prädiktion und Analyse von landwirtschaftlichen Einflussfaktoren zu ermöglichen. Dabei beleuchten wir verschiedene Methoden der Datenaggregation und -analyse. Wir zeigen, dass Verfahren aus dem statistischen Ensemble-Post-Processing nutzbar sind für die Generierung von Pflanzenwachstumsprognosen. Ausgehend von einem Ensemble wird eine probabilistische Vorhersage gebildet, welche dann mittels etablierter statistischer Verfahren ausgewertet werden kann. Schließlich zeigen wir, wie solche Vorhersagen zur Optimierung von Feldbearbeitungsschritten genutzt werden können, um beispielsweise optimale, teilflächenspezifische Düngeempfehlungen abzuleiten. Übergeordnetes Ziel ist es, mithilfe von realistisch verfügbaren Daten und mathematischen Verfahren die z.T. hoch-komplexen Entscheidungsprozesse des landwirtschaftlichen Alltags zu unterstützen.

Keywords: Datenanalysen, Ertragsprognosen, Ensemble-Vorhersagen

1 Einleitung

Viele Landwirte haben bereits heute reichhaltige Datensätze über ihre Felder vorliegen. Dazu zählen beispielsweise (historische) Sensordaten über Ernteerträge und Biomasse oder mehr oder weniger detaillierte Bodendaten, welche durch die Entnahme von Proben gewonnen wurden. Hinzu kommen öffentlich generell gut verfügbare Daten, wie digitale Geländemodelle, Wettervorhersagen sowie historische Wetterdaten.

Ziel unserer Arbeit ist es, mit Hilfe dieser Daten die oft sehr komplexen Entscheidungsprozesse des Landwirts zu unterstützen. Besonderes Augenmerk liegt dabei zunächst auf Entscheidungen hinsichtlich Düngemittelapplikationen, da diese einerseits hinsichtlich Kosten-Nutzen-Abwägungen und andererseits gleichzeitig auch im Hinblick auf Umweltschutzaspekte zunehmend in den Fokus geraten, siehe bspw. [He20]. Im Rahmen des Fraunhofer Leitprojekts COGNAC, an dem insgesamt acht Fraunhofer-Institute aus verschiedenen Domänen beteiligt sind, forschen wir an der Nutzung und statistischen Analyse von diversen Schlag- und Ertragsdaten, deren Aggregation und visueller Aufbereitung sowie an deren Kombination mit Umgebungsinformationen wie

[1] Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Bereich MF, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern, jochen.fiedler@itwm.fraunhofer.de
[2] Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Bereich MF, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern, michael.burger@itwm.fraunhofer.de

z. B. Wetterdaten oder Feldtopographie. Wir entwickeln dabei insbesondere Methoden und Verfahren, historische Datensätze effizient zu analysieren und sie mit den genannten Umgebungsdaten in Bezug zu setzen. Dies dient u.a. dazu, dem Landwirt einfach und effizient vergleichende Analysen früherer Strategien zu ermöglichen, woraus er dann wiederum Schlüsse für anstehende Entscheidungen ziehen kann. Dem Landwirt soll unter anderem ermöglicht werden, den Einfluss von Maßnahmen oder Umweltfaktoren statistisch zu evaluieren und dies mit Erfahrungen abzugleichen. Zum anderen kombinieren wir alle verfügbaren Daten aus den unterschiedlichen Quellen und lassen diese in verfügbare Pflanzenwachstumsmodelle [PVS16] einfließen. Die Rolle von Pflanzenwachstumsmodellen beschränkt sich aktuell noch hauptsächlich auf den Bereich der Forschung. Aufgrund der Komplexität der Modelle ist eine gute Kalibrierung in der Praxis oft sehr herausfordernd, da diese eine gute Kenntnis aller relevanten Parameter erfordert.

An diesen Punkt setzen wir mit der Generierung und dem Postprocessing von Ensemble-Vorhersagen an. Diese ermöglichen es, Unsicherheiten in den Randbedingungen direkt in die Modellierung einfließen zu lassen und damit z. T. abzuschwächen oder auch zu kompensieren, mindestens aber Unsicherheiten und Streubänder zu quantifizieren. Gleichzeitig lassen sich Ensembles durch Beobachtungen aus unterschiedlichen Quellen wie Biomassesensoren oder Satelliten immer wieder aktualisieren und verbessern. Daher entsprechen sie auch seit Jahren dem Stand der Technik bei den Wettervorhersagen und haben geholfen, die Güte der Prognosen deutlich zu verbessern [GR05]. Im Kontext von Pflanzenwachstumsmodellen machten z. B. [Ma15] erste Beobachtungen, die nahelegen, dass Ensembles von Pflanzenwachstumsprognosen bessere Vorhersagen liefern, als es eine einzelne Prognose kann.

Wir möchten diese Erfahrungen umsetzen und auf Basis von Ensemble-Vorhersagen Entscheidungsunterstützung für den Landwirt geben. Dabei ist es uns sehr wichtig, dass die realistischen Randbedingungen des landwirtschaftlichen Alltags beachtet und berücksichtigt werden – so liegen Daten und besonders Modelle oft nur heterogen und lückenhaft oder gar nicht vor, Antworten und Entscheidungen müssen aber sehr schnell und möglichst genau gefunden werden. In diesem Beitrag berichten wir über einen methodischen Gesamtansatz, aus dem heraus gegenwärtig ein Software-Tool im Entstehen ist, bei dem hinreichend leistungsfähige mathematische Methoden zum Einsatz kommen, aber gleichzeitig die Darstellung von Ergebnissen und Analysen möglichst eingängig und intuitiv gehalten wird, um dem Landwirt umfänglich und verständlich Fakten sowie schnelle Hilfen für entsprechende Entscheidungen zu liefern.

2 Kompletter Workflow

Das komplette System ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. In dessen Kern steht die Datenverarbeitung sowie die Generierung von Ensembles, welche dann optimiert werden, um daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. In einem ersten Schritt werden verfügbare

Daten gesammelt und zusammengeführt. Dabei wird darauf geachtet, dass die Daten in einem für die statistische Analyse geeigneten Format vorliegen. Die Ergebnisse dieser Analyse werden dann für zwei Aspekte genutzt. Einerseits zur direkten Untersuchung empirischer Zusammenhänge: So kann ein Landwirt alle historischen Daten auf bestimmte Zusammenhänge hin untersuchen, beispielsweise ob und wo eine teilflächenspezifische Düngung im Feld einen Mehrwert beim Ertrag gebracht hat. Bei dieser Beurteilung wird der Landwirt durch geeignete Visualisierungen und Ausgabe statistischer Zusammenhänge unterstützt. Andererseits werden die empirischen Datenanalysen zur Kalibrierung von Pflanzenwachstumsmodellen genutzt. Diese sollten, gegeben der bekannten Randbedingungen wie Bodenzusammensetzung, die Spannweite der beobachteten Erträge abdecken.

Die auf diese Weise grob vorkalibrierten Modelle werden anschließend zur Erzeugung von Ensemble-Vorhersagen genutzt, die dann einem statistischen Postprocessing unterzogen werden, für welches zusätzliche Daten wie Beobachtungen der Biomasse genutzt werden. Zum Schluss werden aus dem so entstandenen Ensemble probabilistische Vorhersagen generiert, die dann hinsichtlich interessierender Größen, wie beispielsweise des Zeitpunkts der Düngung, optimiert werden können.

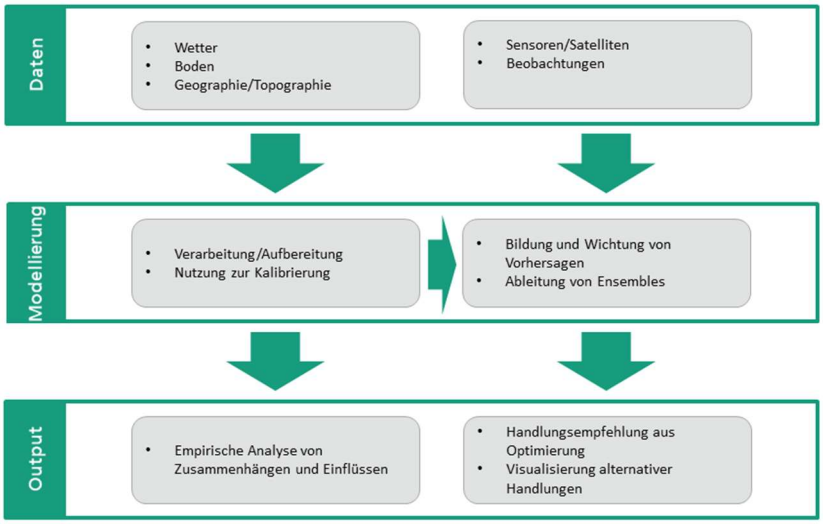


Abb. 1: Schematischer Workflow des Systems

3 Empirische Analyse vorhandener Daten

In Abb. 2 sind exemplarisch einige verfügbare Daten anonymisiert als Ausschnitte dargestellt. Visuell sind dort bereits starke Ähnlichkeiten zwischen Bodenbewertungszahl (erstellt nach dem Bodenschätzungsgesetz) und Stickstoffapplikation zu sehen, während

es zwischen Stickstoffapplikation und Ertrag wenig Korrelation zu geben scheint. Eine empirische Analyse zeigt: Eine einfache lineare Regression ohne räumliche Interaktionen genügt, um den Zusammenhang zwischen Bodenbewertungszahl und Applikation hinreichend zu beschreiben. Das lässt die Vermutung aufkommen, dass die Applikationskarte für die Düngung auf der Bodenbewertungszahl basiert und dementsprechend auf Bereichen mit einer höheren Bodenbewertungszahl größere Mengen an Stickstoff appliziert wurden. Die hohe Pearson-Korrelation von 0,82 unterstreicht diesen Schluss.

Wegen der starken Kollinearität zwischen Bodenbewertungszahl und Applikation wird in einem weiteren Analyseschritt nur der Einfluss der Düngung auf den Ertrag untersucht. Dazu zeigt eine interne Analyse in unserem Workflow, dass hier ein räumlicher, autoregressiver Prozess ein sinnvolles Modell darstellt, weswegen das System dann einen solchen Prozess zur Modellierung nutzt. Für die Interpretation der Ergebnisse der Modellierung wird der sogenannte *impact* als Maß genutzt. Dieser liefert negative Werte, was bedeutet, dass auf den Flächen, auf denen mehr Düngemittel appliziert wurde, weniger Ertrag entstand. Da diese Flächen gleichzeitig eine höhere Bodenbewertungszahl haben, ist dieses Ergebnis kontraintuitiv, spiegelt aber die visuellen Eindrücke wider (vgl. Abb. 2). Aus den hier genutzten Daten ist nun keine abschließende Interpretation dieses Ergebnisses möglich, so dass hier mehr Daten oder die Expertise des Landwirts notwendig sind. Die Auswertung eröffnet aber wichtige verdeckte Zusammenhänge, die dann mit agronomischer Expertise zusammengeführt werden können.

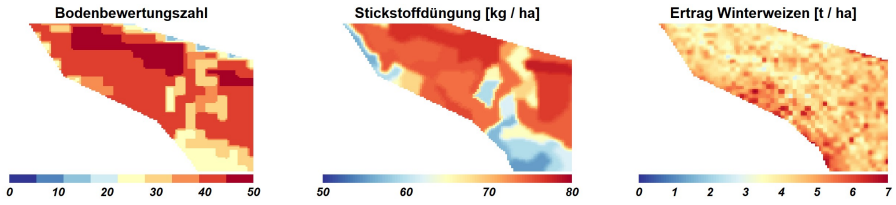


Abb. 2: Empirisch verfügbare Daten zu Ertrag, Bodenbewertungszahl und Stickstoffdüngung. Die Bilder zeigen anonymisierte Ausschnitte

4 Generierung und Postprocessing von Ensemble-Vorhersagen

Zur Generierung eines Ensembles haben wir beispielhaft das Pflanzenwachstumsmodell APSIM [Ke03] betrachtet und damit den Ertrag eines einzelnen Feldes simuliert. Exemplarisches Ziel ist dabei hier, die Auswirkungen zweier verschiedener Saatdichten zu untersuchen. Als Pflanze wurde dabei auf Winterweizen kalibriert [Kn11]. Anschließend wurde für die zwei verschiedenen Saatdichten von 50 kg/ha und 150 kg/ha jeweils eine Ensemble-Vorhersage generiert. Dabei entstand jedes Ensemble-Mitglied aus einer unterschiedlichen Kombination aus historischem Wetterverlauf und Boden-pH-Wert – alle anderen Randbedingungen wurden der Einfachheit gleich gelassen.

Abb. 3 zeigt exemplarisch, wie für eine Ensemble-Vorhersage eine Entscheidung entsteht und wie sich die beiden Ensembles für die beiden Saatdichten unterscheiden. In Plot (a) sehen wir eine relativ breite Streuung in den einzelnen Ertragsvorhersagen. Diese werden für jeden Zeitpunkt überführt in eine probabilistische Vorhersage (b), in der sich dann die Unsicherheit der Vorhersage direkt ablesen lässt. In unserem Falle wurde für jeden Zeitpunkt an eine Vorhersage des Ensembles eine Gammaverteilung angepasst, wobei jedes Mitglied im Ensemble dasselbe Gewicht erhält. In der Praxis wird so eine gleiche Gewichtung durch eine individuelle ersetzt, welche dann auf Beobachtungen der Biomasse reagieren kann. Somit werden im Laufe einer Saison verlässlichere Ensemble-Mitglieder stärker gewichtet als weniger verlässliche, was die Güte der Prognose verbessert. Diese Anpassung einer Gammaverteilung wurde für jeden Prognose-Zeitpunkt durchgeführt, was den Prognose-Schlauch in (c) ergibt. In (d) wurden dann beide Prognosen verglichen, wobei sich zeigt, dass die Entscheidung für die höhere Saatdichte einen leicht günstigeren Ertragsverlauf mit sich bringt, weshalb man sich in diesem Fall für die höhere Saatdichte entscheiden würde.

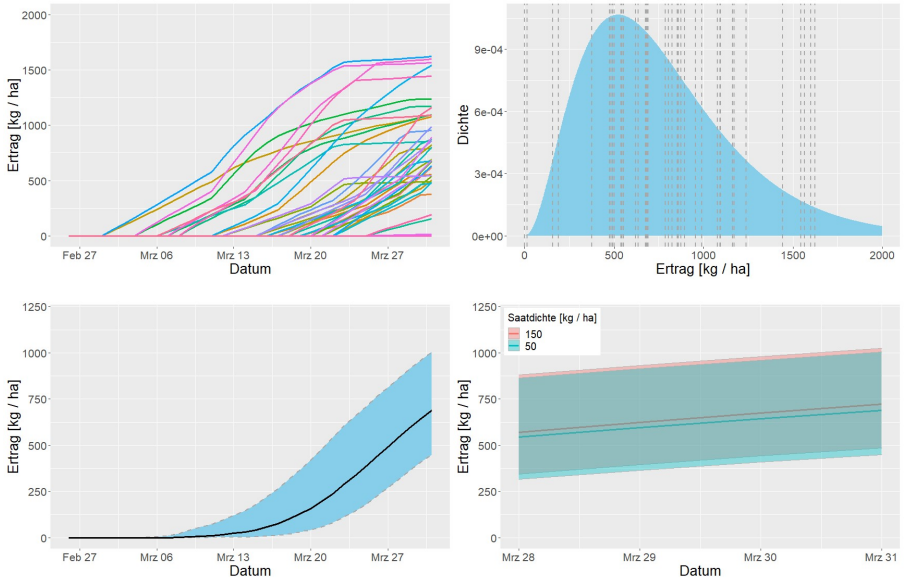


Abb. 3: Entstehung einer probabilistischen Vorhersage aus einer Ensemble-Vorhersage. In (a) sind die individuellen Prognosen zu sehen, welche aus unterschiedlichen, historischen Wetterverläufen in Kombination mit verschiedenen Boden-pH-Werten entstehen. In Graph (b) wurden die einzelnen Vorhersagen für einen einzelnen Tag zu einer Gammaverteilung kombiniert; die einzelnen Vorhersagen sieht man als vertikale gestrichelte Linien. Die zeitliche Entwicklung der Quartile und des Medians (schwarze Linie) sieht man in (c), während (d) einen Vergleich der beiden Prognosen zeigt. Für diesen Vergleich haben wir uns aufgrund der besseren Darstellbarkeit auf einen kleinen zeitlichen Ausschnitt beschränkt.

5 Diskussion und weitere Arbeiten

Im Rahmen des Projekts werden in nächsten Schritten obige Ansätze noch weiter ausgearbeitet. Ziel dabei ist es immer, dem Landwirt möglichst einfache und umfassende Hilfestellungen zu geben. Aus diesem Grund arbeiten wir weiter an möglichst guten Darstellungen und Analysen vorhandener Daten.

Diese Daten sollen später auch immer stärker für die Erzeugung der Ensemble-Prognosen genutzt werden, was zum aktuellen Zeitpunkt unseres Projekts noch sehr rudimentär erfolgt. Dennoch zeigt sich bereits jetzt, dass Ensembles bestehende Unsicherheiten abbilden und berücksichtigen können, was den Landwirt bei seinen Entscheidungen unterstützen kann. Die in diesem Beitrag gezeigten Analysen und Vorhersagen, Abhängigkeitsanalysen und räumliche Regressionsmodelle und ensemblebasierte Ertragsvorhersage, sind als Beispiele und Schlaglichter zu verstehen und sollen demonstrieren, wie (heterogene) Daten aus verschiedenen Quellen und verschiedener Güte kombiniert mit entsprechenden mathematischen Techniken Einsichten und Entscheidungshilfen bereitstellen können.

Literaturverzeichnis

[PVS16] Di Paola, A., R. Valentini, und M. Santini. „An overview of available crop growth and yield models for studies and assessments in agriculture.“ Journal of the Science of Food and Agriculture 96 (2016): 709-714.

[GR05] Gneiting, T.; Raftery, A. E.: Weather Forecasting with Ensemble Methods. Science 310, S. 248-249, 2005.

[He20] Heiß, A.; D. S. Paraforos; G. M. Sharipov; H. W. Griepentrop: Fuzzy Farmer – optimierte Stickstoffdüngung durch mehrparametrische Datenfusion und präzise Applikation in Echtzeit. In (Gandorfer, M. et al., Hrsg.): Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2020, S. 109-114.

[Ke03] Keating, B. A. et al. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. European Journal of Agronomy 18, S. 267-288, 2003.

[Kn11] Knörzer, H.; Lawes, R.; Robertson, M.; Graeff-Hönninger, S., Claupein, W.: Evaluation and Performance of the APSIM Crop Growth Model for German Winter Wheat, Maize and Fieldpea Varieties in Monocropping and Intercropping Systems. Journal of Agricultural Science and Technology B 1, S. 698-717, 2011.

[Ma15] Martre, P.; Wallach, D.; Asseng, S.; Ewert, F.; Jones, J. W.; Rötter, R. P.: Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. Global Change Biology 21, S. 911–925, 2015.

Overview of a route-planning tool for capacitated field processes in arable farming

Santiago Focke Martinez[1], Thomas Wiemann[1,2] and Joachim Hertzberg[1,2]

Abstract: This paper presents an overview of a planning tool being developed for the generation of routes in the spatio-temporal domain for vehicles participating in capacitated arable farming operations. The planner supports processes where the field is divided into a surrounding headland and an inner-field (main) region. Two scenarios for output material flow operations are currently supported: 1) one machine equipped with a container works the field; and 2) a machine with no container works the field while being serviced on-the-run by one or more capacitated service units.

Keywords: Route Planning, Precision Farming, Smart Farming

1 Introduction

Over the last years, the need to introduce new technologies in agricultural processes has increased considerably due to the integration of bigger and more sophisticated machinery and the consequent necessity to improve the efficiency of the processes, with concepts such as Precision Farming and Controlled Traffic Farming gaining traction in the field. Some effort has been put in the last years in the implementation of tools and methods to plan routes for the machines involved in arable farming processes [Mo20], including input and output material flow operations (e.g. spraying and fertilizing, and harvesting, respectively), involving both capacitated and non-capacitated scenarios. Route optimization can lead to reductions of energy consumption, labor costs, traffic intensity in the field, and soil compaction, among other benefits [Ed17, NZ20]. Additionally, if the machines' routes are planned in the spatio-temporal domain, it is possible to estimate the time needed to work on a field, as well as the time a machine is required to operate in a field, which can be used in multi-field campaign planning to improve the usage of resources [Wa20]. Moreover, the increasing development of agricultural robots [Fo20] requires generating plans that can be executed by autonomous systems.

This paper presents an overview of the current state of a tool designed to plan machines' routes in the spatio-temporal domain for arable farming. Two types of machines are considered: a primary machine (PM), which is the one performing the main work in the field (e.g. harvester); and service units (SU), which cooperate with the primary machine

[1] German Research Centre for Artificial Intelligence (DFKI), PBR, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, santiago.focke@dfki.de
[2] Osnabrück University, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, twiemann@uos.de, joachim.hertzberg@uos.de

in the process (e.g. transport vehicles). Currently, the planner supports two types of capacitated output-material flow operation types:

- CS1: the PM has a container and no SUs participate in the process. Once its capacity limits are reached, the PM must travel to an unloading facility and then return to continue working the field.
- CS2: the PM has no container, and a material overload operation is done on-the-run (i.e. without stopping) in cooperation with SUs, which are in charge of transporting the material to an unloading facility.

Exemplary results, limitations, future work, and conclusions are also included in the paper.

2 Methods

The main input parameters used by the tool for route planning are: field boundary (polygon), headland width (HW), reference linestring for inner-field tracks, distance between track points (resolution), list of participating machines with their parameters (incl. dimensions, working width, speeds, and capacity), field access points, unloading points, current states of the machines (location, load), out-of-field transit information (e.g. durations, distances), unloading durations, and material mass rate per area unit (either average for the field or a grid map). Other inputs are the speed function, used to compute the speed of the primary machine while working the field; and the cost function, used to compute the costs in the planning process and which can be designed to plan for different type of optimization goals. Introducing these functions as inputs for the planner allows a higher flexibility in the process. The output of the planner are the routes of all machines participating in the process, namely the PMs and the SUs (if applicable). The route points will contain specific information, including location, timestamp, and load information.

The first step in the planning process is the division of the field in two regions: headland and inner-field (IF). To obtain the boundary between the two regions (i.e. the IF boundary), the field boundary is offset inwards by the given distance HW (multiple of the PM's working width). Once the two regions are obtained, the tracks for both are generated. For the headland, the tracks are recursively generated by offsetting inwards the field boundary so that the distance between the tracks equals the working width and all the headland region is covered. In the case of the IF, the reference linestring is translated by a distance equal to the working width and extended until it intersects with the IF boundary. This procedure is done recursively over the IF area until the region is covered. Fig. 1(a) shows an example of the generated regions with their respective tracks, including the initial track order. The generated tracks are finally sampled using the given points' resolution. For the headland, the point order can be clockwise or counterclockwise.

Once the tracks are available, the so-called base route is generated, which represents the route of the PM which covers both regions without considering the capacity constraints or

unloading activities. The planner allows to plan for both regions of the field (as shown in this paper) or for only one region if desired. Whether the headland must be worked before the IF or vice versa depends on the nature of the process. Currently, only the scenario where the headland is worked before the IF region (e.g. harvesting) is supported. First, the headland tracks are connected to obtain the headland route segment, starting with the outmost track. Next, the first and last points of the first and last track of the IF are checked to obtain the point that can be connected to the last headland route-point with the shortest path. These connection paths are computed on the (already worked) headland. Based on the selected point, the first IF track in the sequence is defined, as well as the direction in which the track will be worked. Next, the sequence for the remaining IF tracks is selected. Several approaches have been presented over the last years to optimize the selection of the sequence in which these tracks should be traversed [Mo20]. In this paper, a simple sequencing approach is used, where the IF tracks are traversed in order from one side of the IF to the other. Finally, the headland route is connected to the first IF route point and the points of the IF tracks are added to the route following the track sequence. The connection between IF tracks is done in the headland region. Having the location of the route points, it is possible to compute the timestamp of each route point based on the distance between consecutive points, the machines speed limits, and the speed function. The timestamp of the first route point will be equal to the time required by the PM to reach it, based on the out-of-field information and the closest access point. Moreover, each route point will save the amount of material mass that has been worked until that point. To compute this mass, the material rate per area unit (MRPAU) grid map (if available) or the average MRPAU of the field is used. The area covered between two points is calculated using the distance between the points and the machine's working width, and the total material mass can be obtained from the average MRPAU on that covered area. This only applies to the area being worked, hence no mass calculation is done for the points belonging to the headland-IF connection and the IF inter-track connections.

Next, a graph is constructed (Fig. 1(b)) based on the field geometries, the tracks, and the generated base route. The vertices of the graph correspond to each one of the track points, and are connected to other close vertices via edges. Vertices and corresponding edges are also added for field access points, unloading points, and current locations of the machines. Each vertex is assigned a timestamp corresponding to the time in which it is worked, based on the base route points. This allows to control that vertices are not visited by machines transiting on the field before they are worked by the PM. The vertices also hold information of the visits (visit windows) to avoid collision between machines. This graph is later used by the planner to search for the best path to reach a vertex corresponding to a goal location (e.g. an unloading point) from a vertex corresponding to a start location (e.g. a point inside the field) using A* search. The A* search is done in a constrained way to avoid undesired behaviors such as travelling over unworked areas and collision between machines. The search process not only delivers the resulting path points' locations, but also their timestamps, which were computed using the machine speed. The edge costs and heuristics used in the search will be defined by the given cost function. A cost function (CF) can be designed to optimize different aspects of the process. Two CFs are currently available in the planner: for machine's (non-working) time optimization (TOpt), and for

soil protection (SOpt). The TOpt aims to reduce the non-working time of a machine in the process, which translates into optimizing the non-working travels of the machines. The SOpt aims to reduce the damaging impact of machine traffic on the soil, taking into account the amount of mass that has travelled over the edges (dynamically updated during planning) and a cost grid map (if available) which depicts the state of the soil in the field.

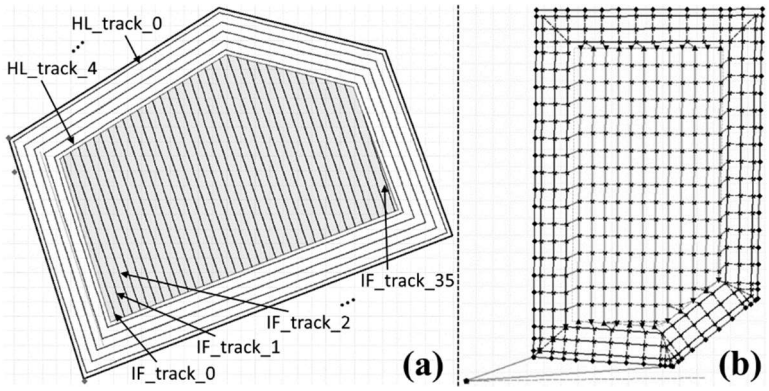


Fig. 1: (a) Field headland and inner-field regions with their respective tracks; (b) Graph example

The next step is to compute the working windows for the machines. The definition of these windows depends on the process. For CS1, a working window starts the moment in which the PM starts working a segment of the base route and finishes when it reaches its capacity limits and needs to travel to an unloading point. For CS2, the windows correspond to overloading windows, starting from the point in which the PM starts overloading the material to a SU and finishes when the SU reaches its capacity limit and must go unload, moment in which the PM waits until the next service unit arrives to continue overloading. If there are multiple SUs, the overloading windows will be assigned in an orderly fashion. If, for example, there are 5 overloading windows and two SUs, one SU will have windows {1,3,5} assigned to it, and the other will have the remaining {2,4}. Different permutations are possible regarding the order in which the windows are assigned to the SUs. The planner generates plans for each permutation until all permutations are checked or until a planning duration limit is reached. The order in which the permutations are checked by the planner depends on the current states of the SUs, aiming to plan first for the permutations that are considered most likely to be the best. In both scenarios, it is possible to add the constraint that the switching between working windows in the IF is done only when a track has been completely worked, avoiding switches inside the IF region.

The overall planning for a permutation is divided into sets of sub-plans. In the case of CS1, the planning is done for the PM, whereas in CS2 the planning is done for the SUs. First, the PM starts following the original base route until the first working window is finished. In case of CS2, a SU follows the PM during this stage performing an overloading operation. Then, the planner searches for the best (sub) route to reach any of the unloading points using A* search in the generated graph, either for the PM (CS1) or the SU (CS2).

There, a route point is added corresponding to the unload duration, followed by a search for the best path from the unloading point to a vertex corresponding to the start point of the next window. This process is repeated until all windows have been worked, and so the route for the machine is generated. The route points' parameters (timestamp, load) are adjusted accordingly. Moreover, the graph vertex and edge parameters (incl. working timestamps, visit windows, and mass driven over the edges) are updated after each search. Lastly, the up-to-date graph is used to obtain the best paths for all machines to exit the field, which is added to the machines' routes. The resulting routes can be finally adjusted to the machines' kinematics by smoothing the sharp turns based on the turning radius of the corresponding machine. Figure 2 shows two examples of routes generated for machines participating in the two scenarios. In both examples, planning was done following a soil-protection optimization approach which included a soil-state cost map, where areas with high compaction (white areas in the figures) should be avoided as much as possible when planning the routes from/to the unloading points. The left figure depicts the route of a capacitated harvester for CS1, whereas the right figure depicts the route of one of two SUs servicing a harvester for CS2.

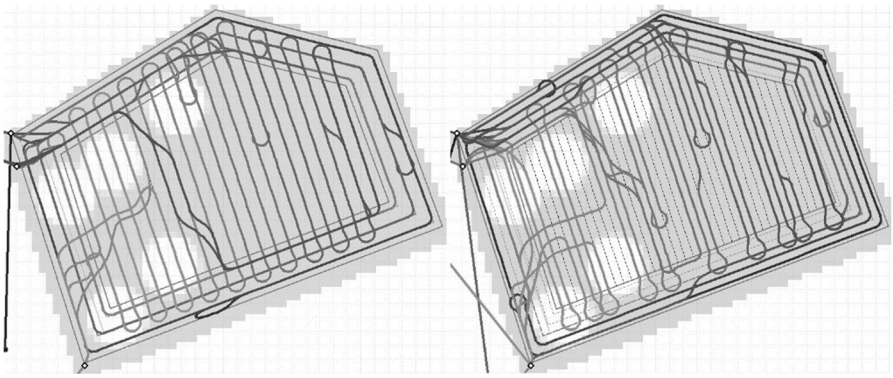


Fig. 2: Route for a harvester in CS1 (left) and route for transport vehicle in CS2 (right)

3 Limitations and future work

The current results are satisfactory; nevertheless, this tool has its limitations. One of them is that the planner does not handle obstacles, which could be solved by integrating a proper field segmentation into subfields and a corresponding subfield-sequencing planning. Another limitation is that only a headland surrounding the IF region is supported. However, some processes use headlands that are only present on two sides of the IF region where the IF tracks start/end, hence it is intended to expand the tool to support such type of headlands as well. Additionally, although the route generation following the presented graph approach gives some flexibility to control traffic over specific areas, it might generate paths that are impracticable or inadequate for vehicles whose turning radii are relatively high with respect to the working width of the process and/or the given track

point's resolution, making the integration of machine-specific kinematic constraints during route planning necessary. Finally, the planner optimizes the process by parts, which means that the resulting routes do not correspond to a global optimal plan.

It is intended to expand the planner to support more agricultural scenarios that could include capacitated input material processes such as fertilizing, as well as other output material processes where the interaction between the PM and the SUs differ from the presented scenarios (e.g. CS2 with a harvester equipped with a container). Dynamic planning is also a current development topic, where the routes are generated on partially worked fields, allowing online recalculation of the routes based on the current states of the machines and the field, and on data gathered during the actual process.

4 Conclusions

This paper presented an overview of a planning tool developed for route generation in capacitated arable farming processes. Two types of capacitated scenarios are currently supported. The planner can generate routes for primary machines and service units following an optimization objective defined by an input cost function (CF). Two CFs are currently offered which aim to minimize the process duration and to increase soil protection. Even though the route planner has limitations, the current results are satisfactory. Further work will be done to decrease the limitations and expand the list of farming scenarios supported by the planner.

The project SOILAssist is funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) within the framework of the BonaRes-initiative (grant no. 031B0684B). The DFKI Niedersachsen Lab (DFKI NI) is sponsored by the Ministry of Science and Culture of Lower Saxony and the VolkswagenStiftung.

References

[Mo20] Moysiadis, V. et.al: Mobile Robotics in Agricultural Operations: A Narrative Review on Planning Aspects. Applied Sciences 10/20, p. 3453, 2020.

[Ed17] Edwards, G. et.al: Route planning evaluation of a prototype optimised infield route planner for neutral material flow agricultural operations. Biosystems Engineering 153/17, p. 149-157, 2017.

[NZ20] Nilsson, R.S.; Zhou, K. Decision Support Tool for Operational Planning of Field Operations. Agronomy 10/20, p. 229, 2020.

[Wa20] de Wall, A. et.al: prospective.HARVEST – Optimizing Planning of Agricultural Harvest Logistic Chains, in 40.GIL-Jahrestagung, Dig. für Mensch, Umwelt und Tier, Bonn, 2020.

[Fo20] Fountas, S. et.al: Agricultural Robotics for Field Operations. Sensors 20/20, p 2672, 2020.

Wer nutzt was? Entwicklung eines dynamischen Tools zur Erstellung von Nutzerprofilen bei digitalen Technologien in der Landwirtschaft

Andreas Gabriel[1] und Markus Gandorfer[2]

Abstract: Auf Basis von Daten aus einer Online-Befragung von bayerischen Landwirt*innen (n=2.390) wurde ein Excel-Tool entwickelt, das individuelle Abfragen zu Nutzer*innen digitaler Technologien zulässt. Die Befragten konnten Angaben zur Nutzung von insgesamt 31 aktuell verfügbaren digitalen landwirtschaftlichen Technologien in der Tierhaltung (z. B. Tiersensoren, automatische Melksysteme) und in der Außenwirtschaft (z. B. automatische Lenksysteme, Karten aus Satellitendaten) machen. Neben den technologiespezifischen Nutzerprofilen können auch Hinweise zur Erwartungshaltung der Befragten sowie zu den wahrgenommenen Vor- und Nachteilen bei einzelnen Technologien angezeigt werden. Weiterhin können Kombinationen von Anwendungen dargestellt werden, um zu erfassen, in welchen Betrieben weitere digitale Technologien zum Einsatz kommen bzw. zu welchen Anwendungen kurz- und langfristige Investitionsplanungen vorliegen. Die Datenbank des Tools lässt sich mit Ergebnissen aus zukünftigen Umfragen beliebig erweitern. Dadurch ist es möglich, regionale Nutzerprofile zu erstellen, die Nutzung digitaler Technologien auf Bundeslandebene zu vergleichen oder Zeitreihenanalysen durchzuführen.

Keywords: Digitale Technologien, Excel-Tool, Nutzerprofile, Online-Umfrage

1 Einleitung

Wie andere Wirtschaftssektoren erfährt auch die Landwirtschaft dynamische und vielfältige Entwicklungen, was die Digitalisierung von Arbeitsvorgängen und betrieblicher Infrastruktur betrifft. Den Landwirt*innen steht eine steigende Anzahl an marktreifen Anwendungen zur Verfügung. In der Adoptionsforschung existiert eine Vielzahl an allgemeinen theoretischen Modellen, über die sich die Einflüsse auf die Adoption und Nutzung neuer Technologien empirisch erklären lassen sollen. Beispielsweise bietet die Theory of planned behavior einen allgemeinen Modellrahmen zur Vorhersage der Nutzung von neuen Technologien im Zusammenhang mit diversen Einstellungen, wie z. B. zur Verhaltenskontrolle oder zur sozialen Norm [Ai91]. Das Technology Acceptance Model betrachtet den wahrgenommenen Nutzen einer neuen Technologie und deren Benutzerfreundlichkeit als entscheidende Determinanten zur Nutzung dieser neuen Technologie [Da89]. Eine australische Forschergruppe entwickelte das Prognosemodell ADOPT, das es erlaubt, den

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Arbeitsgruppe Digital Farming, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf an der Rott; andreas.gabriel@lfl.bayern.de, https://orcid.org/0000-0001-5736-1593
[2] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Arbeitsgruppe Digital Farming, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf an der Rott; markus.gandorfer@lfl.bayern.de,

zeitlichen Verlauf und die maximale Verbreitung neuer Technologien und Praktiken in der Landwirtschaft zu prognostizieren [Ku17]. Empirische Anwendungen dieser Konzepte und Modelle lassen sich jedoch oftmals nur mit Einschränkungen interpretieren, z. B. aufgrund eines geringen Erklärungsanteils oder einer lückenhaften Datengrundlage. Um diese Unsicherheiten zu adressieren, greift der hier beschriebene Ansatz auf Informationen und Erfahrungen von Landwirt*innen zurück, auf deren bisherigen Nutzungsverhalten bei digitalen Technologien sowie auf deren Angaben, in welche Technologien kurz- und langfristig investiert werden soll. Durch die direkten Informationen aus der landwirtschaftlichen Praxis ist es möglich, aktuelle Nutzer*innen einzelner digitaler Technologien regional zu charakterisieren und ein individuelles Nutzerprofil abzuleiten. Dadurch lassen sich einzelne Zielgruppen von digitalen Technologien definieren und miteinander vergleichen. Mit Hilfe zusätzlicher Angaben der Nutzer*innen digitaler Technologien, in welche weiteren Technologien kurzfristig (innerhalb des kommenden Jahres) und langfristig (innerhalb der nächsten fünf Jahre) investiert werden soll, lassen sich die Profile auf vorhandene und potentielle Kombinationen von Technologien erweitern und spezifische Nutzungsmuster erstellen. Eine amerikanische Studie zeigt einen ähnlichen Ansatz, bei dem Nutzerdaten von US-Farmern verwendet wurden, um den sequentiellen Einsatz von Technologien und damit einhergehende Kosteneffekte in festgelegten Szenarien zu untersuchen [SE16]. Durch das in diesem Beitrag beschriebene Excel-Tool lassen sich Nutzungskombinationen in der Innen- und Außenwirtschaft dynamisch abrufen, um auf Basis von bestehenden Erfahrungen Investitionspotenziale in der Kombination mit weiteren digitalen Technologien aufzuzeigen. Der hier verfolgte Ansatz hat das Ziel, auf Basis von Nutzerprofilen und Informationen zur sequentiellen Nutzung einzelner und kombinierter Technologien Muster zum Adoptionsverhalten bei Landwirt*innen zu identifizieren, um dadurch Rückschlüsse auf die Potenziale zur Marktdurchdringung von digitalen Technologien in der Landwirtschaft geben zu können.

2 Methode und Vorgehensweise

Die Basisdaten für die Erstellung des Excel-Tools entstammen einer Online-Umfrage bei bayerischen Landwirt*innen, die von März bis Juni 2020 durchgeführt wurde [LL20]. Die freiwillige Teilnahme an der Umfrage erfolgte über einen Zugangslink auf der iBALIS-Plattform im Zeitraum der Mehrfachantragstellung in Bayern. Dieses Sampling-Verfahren erlaubte somit einen Zugriff auf die Grundgesamtheit bayerischer landwirtschaftlicher Betriebe (mehr als 103.000 Antragsteller aller Produktionsrichtungen) und kommt einer einfachen Zufallsauswahl nahe. Mit insgesamt 2.390 auswertbaren und vollständig ausgefüllten Fragebögen liegt ein belastbarer Datensatz vor, um die Sichtweise der bayerischen Landwirt*innen in Bezug auf die Digitalisierung zu erfassen. Eine realitätsnahe Verteilung der Stichprobenmerkmale (insb. Erwerbsform, Produktionsrichtung, Geschlecht und landwirtschaftliche Ausbildung der Befragten) erlaubt eine zuverlässige Beurteilung der aktuellen Situation in Bayern. Größere Abweichungen zu Verteilungen in der aktuellen

bayerischen Agrarstatistik sind beim Anteil an Nebenerwerbsbetrieben (52 % bei der Online-Umfrage gegenüber 62 % in Bayern [BS20]), der Flächenausstattung (38 % Betriebe mit mehr als 49 ha gegenüber 19 % [BS20]) und dem Alter der befragten Betriebsleiter*innen (51 % älter als 49 Jahre gegenüber 37 % [De17]) zu verzeichnen. Dass die Altersstruktur in der Umfrage insgesamt höher ist, zeigt auch, dass eine häufig erwartete Verzerrung der Stichprobe durch jüngere und internet-affine Landwirt*innen nicht vorliegt.

Neben den Angaben zur Nutzung von insgesamt 31 aktuell verfügbaren digitalen landwirtschaftlichen Technologien, den soziodemografischen Merkmalen der Betriebsleiter*innen und den Daten zur Betriebsstruktur, wurden in der Befragung weitere tiefergehende Informationen zu den ursprünglichen Erwartungen und den wahrgenommenen Vor- und Nachteilen der für die Betriebe jeweils wichtigsten digitalen Technologien standardisiert erhoben. Die gewonnenen Daten aus der Umfrage wurden in eine Datenbankstruktur in MS-Excel übertragen, um individuelle Abfragen zu einzelnen digitalen Technologien zu ermöglichen.

3 Ergebnisse

3.1 Abruf von Nutzerprofilen zu einzelnen Technologien

Die Abfragemaske des Excel-Tools ermöglicht es nach Auswahl einer gewünschten Technologie ein zugeschnittenes Nutzerprofil abzurufen. Damit können Personenmerkmale und betriebliche Strukturen zur jeweiligen Technologie individuell angezeigt werden. Nutzer*innen von optischen Lenkhilfen am Traktor sind beispielsweise insgesamt älter (41 % sind 50 Jahre oder älter) als Landwirt*innen, die Farm-Management-Informationssysteme im Betrieb einsetzen (34 % sind 50 Jahre oder älter). 44 % der Anwender*innen von Karten aus Satellitendaten weisen eine mehrjährige landwirtschaftliche Ausbildung auf (Geselle, Meister, Techniker), während dies bei den Nutzer*innen von optischen Lenkhilfen und Lichtbalkenführungssystemen zu 59 % der Fall ist. Weitere Informationen zu einer digitalen Technologie lassen sich von denjenigen Befragten gewinnen, die angaben, diese als die derzeit wichtigste im Betrieb zu sehen (=„Intensivnutzer“). So stellen beispielsweise 40 % der 313 Nutzer*innen von automatischen Lenksystemen diese Technologie als die für sie derzeit wichtigste heraus. Für rund ein Drittel von 239 aktiven Nutzer*innen ist die GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltung aktuell die wichtigste Unterstützung auf dem Feld, während bei Tierhaltern, die automatische Melksysteme im Einsatz haben, speziell diese Technologie als die wichtigste im betrieblichen Einsatz hervorgehoben wird (89 % von 136 Nutzer*innen).

3.2 Regionaler Abgleich und direkter Vergleich von Technologien

Den Benutzer*innen des Excel-Tools bietet sich die Möglichkeit, auf Basis der vorliegenden Daten direkte Vergleiche von Teilstichproben abzurufen. Dabei ist es möglich, Unterschiede der Anwender*innen verschiedener eingesetzter Technologien direkt gegenüberzustellen, als auch den Einsatz von Technologien in unterschiedlichen Regionen oder Bundesländern zu vergleichen. Bei einer Wiederholung der Datenerhebungen, z. B. durch weitere Online-Umfragen im zweijährigen Turnus, lassen sich auch zeitliche Entwicklungen der Nutzung von und Angaben zu den einzelnen Technologien verfolgen. Das Excel-Tool bietet ebenso die Möglichkeit, einzelne Technologien gegenüber zu stellen und die jeweiligen Nutzerprofile zu vergleichen (Tab. 1). Am Beispiel von automatischen Lenksystemen und digitalen Ackerschlagkarteien lässt sich u. a. die durchschnittliche Einsatzdauer der beiden unterschiedlichen Technologien in Bayern bestimmen (5 Jahre und 11 Jahre).

Auswahldaten: Digitale Ackerschlagkartei (n=387)		**Merkmale**		**Vergleichsdaten: Automatische Lenksysteme (n=313)**
21%	←	Anteil Einsatz im jeweiligen Produktionsbereich (Außenwirtschaft)		17%
41%	←	*- davon als erste eingesetzte digitale Technologie*		*23%*
28%		*- davon als wichtigste eingesetzte digitale Technologie (=Intensivnutzer)*	→	*40%*
61%		Alter Betriebsleiter jünger als 50 Jahre		61%
48%		Anteil mehrj. landw. Ausbildung (Meister, Geselle, Techniker)	→	58%
48%	←	Anteil Nutzung Nebenerwerbsbetriebe		28%
63%	←	Der Betrieb ist hauptsächlich oder vollständig in Eigenbesitz		59%
9%		Anteil ökologisch bewirtschaftet		9%
81		Durchschnittliche Fläche Marktfruchtbau (ha)	→	109
54		Durchschnittliche Fläche Futterbau (ha)	→	77
10,6		Intensivnutzer: durchschnittliche Dauer seit Anschaffung (in Jahren)	4,7	
verbessertes Wissen über Schläge (76%)		Intensivnutzer: vor Anschaffung höchste Erwartung[1)]	geringere Arbeitsermüdung (94%)	
verbessertes Wissen über Schläge (76%)		Intensivnutzer: aktuell höchster wahrgenommener Nutzen[2)]	geringere Arbeitsermüdung (95%)	

[1)] Anteile der Nutzer*innen, die die jeweilige Erwartung nannten; [2)] Anteil der Nutzer*innen mit den Angaben „Eindeutige Verbesserung“ oder „Leichte Verbesserungen“

Tab. 1: Vergleich der Angaben zu den beiden digitalen Technologien „Digitale Ackerschlagkartei“ und „Automatische Lenksysteme“ aus der Befragung in Bayern 2020

Der direkte Vergleich der Nutzungshäufigkeit der beiden Technologien zeigt, dass 21 % der bayerischen Betriebe digitale Ackerschlagdateien einsetzen und 17 % auf automati-

sche Lenksysteme zurückgreifen. Während 28 % der Landwirt*innen, die digitale Ackerschlagkarteien einsetzen, dies als die wichtigste eingesetzte Technologie sehen („Intensivnutzer“), ist dies bei vier von zehn Nutzer*innen von automatischen Lenksystemen der Fall. Bei der Charakterisierung der Befragten selbst zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Teilstichproben. Der Anteil an befragten Nutzer*innen, die eine vollständige landwirtschaftliche Ausbildung vorweisen, ist bei den automatischen Lenksystemen höher (58 %) als bei den Nutzer*innen von digitalen Ackerschlagkarteien. Betriebe, bei denen automatische Lenksysteme im Einsatz sind, weisen insgesamt eine höhere durchschnittliche Flächenausstattung auf. Auffällig ist, dass der Anteil an Nebenerwerbsbetrieben bei den digitalen Ackerschlagkarteien deutlich höher ausfällt (48 %) als bei den automatischen Lenksystemen. Bei beiden Beispielen ist zu sehen, dass sich der erwartete Nutzen durch die jeweiligen Technologien aus Sicht der Betriebsleiter auch eingestellt hat (verbessertes Wissen über Schläge und geringere Arbeitsermüdung).

3.3 Kombination mit anderen Technologien

Durch die zusätzlichen Angaben der Befragten in der Umfrage zur Nutzung sowie zur Planung von kurzfristigen (innerhalb des kommenden Jahres) und längerfristigen (innerhalb der nächsten fünf Jahre) Investitionen in weitere digitale Technologien lassen sich die Potenziale von Kombinationen von Technologien darstellen (Abb. 1).

Abb. 1: Kombination mit weiteren Technologien bei Nutzer*innen von Karten aus Satellitendaten

Exemplarisch zeigt sich, dass ein großer Teil der Nutzer*innen von Satellitenkarten auch digitale Ackerschlagkarteien verwendet oder bereits auf GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltung und automatische Lenksysteme zurückgreift. Zudem wird ersichtlich, dass sich etwa

18 % der Nutzer von Satellitenkarten zusätzlich eine Ertragskartierung in digitaler Form kurz- oder langfristig anschaffen wollen.

4 Verwendungsmöglichkeiten und Fazit

Das entwickelte Excel-Tool auf Basis der Daten von Online-Umfragen erlaubt einen benutzerfreundlichen Abruf von Informationen zu den eingesetzten digitalen Technologien in einer Untersuchungsregion. Ein Vergleich der Profile von Nutzer*innen ausgewählter Technologien zeigt, dass sich diese in bestimmten soziodemografischen und betriebsstrukturellen Merkmalen unterscheiden. Die in diesem Beitrag exemplarische Betrachtung von aktuellen Kombinationen genutzter Technologien zeigt nachvollziehbare Ergebnisse (z. B. die Verwendung von Karten aus Satellitendaten für Teilflächenapplikationen) und lässt auf zukünftige Investitionsschwerpunkte der Landwirt*innen in einer Region schließen. Die Datenbank des Tools lässt sich mit Ergebnissen aus zukünftigen Umfragen beliebig erweitern bzw. zeitlich aktualisieren. Somit gibt das Excel-Tool landwirtschaftlichen Berater*innen oder Fördergebern direkte Hinweise aus der Praxis, welche Technologien zukünftig auf dem Feld und im Stall verstärkt eine Rolle spielen. Hersteller und Händler von digitalen Technologien können anhand von individualisierten Nutzerprofilen die Kommunikation mit Zielgruppen auch regional optimieren. Landwirt*innen selbst bekommen einen einfachen Überblick, wie vergleichbare Betriebe ausgestattet sind.

Literaturverzeichnis

[Ai91] Aijzen, I.: The theory of planned behavior. Organizational behavior and human decision processes, 50(2), 179-211, 1991.

[BS20] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Bayerischer Agrarbericht 2020, https://www.agrarbericht.bayern.de/politik-strategien/index.html.

[Da89] Davis, F.D.: Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS quarterly, 13(3), 319-340, 1989.

[De17] Statistisches Bundesamt: Arbeitskräfte und Berufsbildung der Betriebsleiter/Geschäftsführer, Agrarstrukturerhebung. Fachserie 3 Reihe 2.1.8, 2017.

[Ku17] Kuehne, G. et al.: Predicting farmer uptake of new agricultural practices: A tool for research, extension and policy. Agricultural Systems, 156, 115-125, 2017.

[LL20] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Landwirte-Befragung 2020 - Digitale Landwirtschaft Bayern, www.lfl.bayern.de/digital-farming, Stand 14.10.2020.

[SE16] Schimmelpfennig, D.; Ebel, R.: Sequential Adoption and Cost Savings from Precision Agriculture. Journal of Agricultural and Resource Economics 41(1), 97-115, 2016.

Smart Rural Areas Data Infrastructure (SRADI) – an information logistics framework for digital agriculture based on open standards

David Gackstetter[1], Mandana Moshrefzadeh[1,2], Thomas Machl[1,2] and Thomas H. Kolbe[1,2]

Abstract: Agricultural research is embedded in a complex system of dynamically changing and interacting elements and subsystems. This includes stakeholders and data from various disciplines and institutions, and consequently a highly distributed nature of data resources. To solve the challenges coming along within this ecosystem, we introduce an interdisciplinary cooperation and information logistics framework named "Smart Rural Area Data Infrastructure" (SRADI) for research topics in agricultural sciences. This framework interconnects resources between different stakeholders and platforms, while supplying a basis for integrating both pre-existing, historical and real-time information for physical things. By this, SRADI provides both a quantitative and qualitative enhancement of data foundations for agricultural research.

Keywords: agricultural landscape, distributed digital twin, data infrastructure, catalog, IoT

1 Introduction

Agricultural landscapes represent a highly complex system with dynamically changing elements and interacting subsystems. Single components are managed and owned by a multitude of stakeholders from various fields and disciplines. In order to efficiently and sustainably understand, manage, and operate such a complex system, it is critical to understand the interconnections between the relevant disciplines from different viewpoints of the involved stakeholders. Within this system, actors supply comprehensive specialized information, which is typically available in specialized information systems and spread over various organizations. Consequently, a primary challenge consists in the demand-oriented availability and the harmonization of the information across various stakeholders, to the extent that it helps to establish a common and cross-scale understanding of the landscape and its components.

[1] Technische Universität München, Hans Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften, Liesel-Beckmann-Str. 2, 85354, Freising, david.gackstetter@tum.de

[2] Technische Universität München, Lehrstuhl für Geoinformatik, Arcisstr. 21, 80333, München, mandana.moshrefzadeh@tum.de, thomas.machl@tum.de, thomas.kolbe@tum.de

2 Smart Rural Data Infrastructure (SRADI)

In order to address the above-mentioned requirements within the domain of agricultural research, we have developed a concept named "Smart Rural Area Data Infrastructure – SRADI" [Mo20]. This concept takes into account not only the technical aspects, but also the organisational level and human interactions within the whole system, by considering on the one hand roles, interests, and requirements of stakeholders, and on the other hand the existing and required systems and services. However, SRADI is not a single platform, but rather an infrastructure of various and distributed platforms and resources – an information logistics framework. A conceptual representation of SRADI is shown in Fig. 1. The SRADI concept is structured into three main pillars: i) the actors or stakeholders from various disciplines, which have different interests and roles in the whole systems, as well as owing or maintaining several resources and information; ii) the applications, which form an interface between actors and the digital replica of the agricultural landscape; and iii) the so called "distributed Digital Twin (DT)". The SRADI distributed DT of the agricultural landscape handles the distributed information resources across different stakeholders and platforms, while providing a basis for integrating both already existing and real-time information for physical things such as landscape objects. The distributed digital twin of SRADI itself consists of four more components: a) Virtual Landscape Model, which is a digital spatio-temporal representation of the agricultural environment; b) Analytic Toolkit, which is in fact a warehouse of existing modelling, analysis and simulation tools, linked to the rest of the SRADI components using standardized service interfaces; c) Sensors and Internet of Things (IoT) comprising all available in-situ and remote sensors.

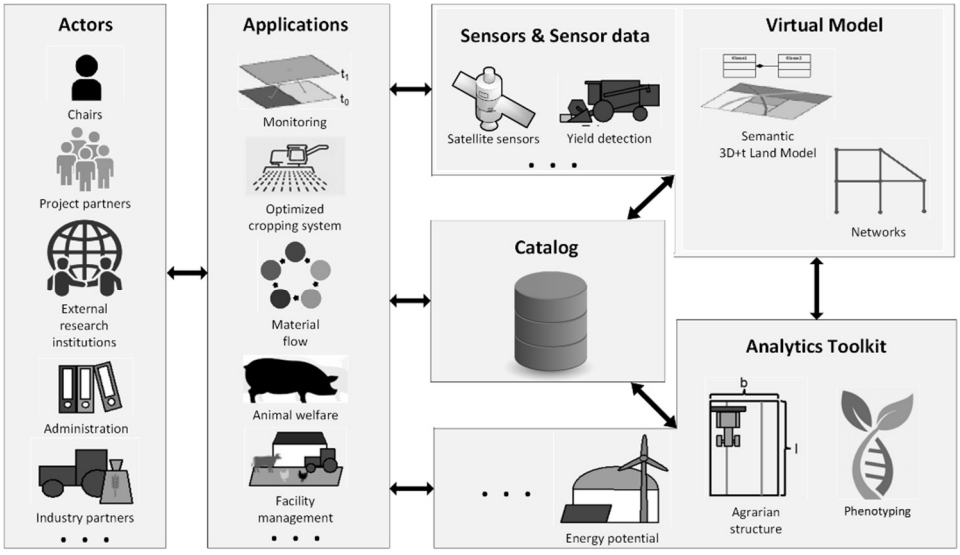


Fig. 1.: The Smart Rural Area Data Infrastructure – SRADI Concept

This also includes data from third party providers, which are used for enriching the DT with real time information; and d) Catalog that provides on the one hand the basis for linking diverse types of resources to each other and on the other hand represents the complex interconnections of resources as well as their owners and organizations. One important aspect of SRADI is interoperability. The components, data models and software are designed and chosen based on their usage of international standards such as the ones from Open Geospatial Consortium (OGC) and International Organization for Standardization (ISO).

3 Handling information resources of the distributed digital twin

The catalog is a key component of the distributed DT of SRADI. Its particular features distinguish it from the other typical catalogs, in for example spatial data infrastructures (SDIs) or governmental open data platforms. The distributed DT catalog specifically addresses these key challenges:

- **Lack of transparency:** different stakeholders have different information about the same real-world objects. They typically do not know what data is available from other sources.
- **Data integration in a multidisciplinary and distributed environment:** even if different stakeholders know about the data of others, the way they perceive information related to the same real-world objects, is not necessarily the same. This makes integration of information difficult and causes problems when linking the data of multiple actors.
- **Digital representation of real-world objects:** in order to integrate various information which is related to the same real-world objects it is required to have a unique and sustained digital representation of those real-world objects. However, a big challenge consists in determining the level of details to digitally represent these real-world objects, taking into account that each should have a unique stable identifier.
- **Data persistence**: it is important to guarantee the uniqueness and persistence of the information, which includes not only the digital representation for real-world objects in the catalog, but also entries that reference historical and real-time information and resources.
- **Interoperability and vendor neutral**: in order to serve different stakeholders from various disciplines and domains it is essential to provide a solution that is interoperable and platform agnostic.

Given these challenges, we propose to set up a catalog as a registry for resources of all types and for their providers (stakeholders). In contrast to the existing catalogs, which are used in for example open data platforms, this catalog is not limited only to managing datasets and services carried out or collected during different spatio-temporal ranges, but in

addition handles functions at the level of individual physical things (like an individual agricultural parcel or machine) as well as information related to projects, methods, etc. Hence, the catalog of the distributed DT covers diverse types of resources including methods, projects, software, applications, devices, landscape objects and even animals. By explicitly defining the type of each resource, we add specific semantics related to the digital twin of the agricultural ecosystem. This improves structuring and retrieval of information provided by diverse organizations.

Another important characteristic of this catalog, which differentiates it from other existing catalogs, is its role in facilitating the SRADI distributed DT. In order to achieve the full benefits of the distributed DT in our approach, for each individual landscape object we define a digital geo-replica as a single entry using data provided by the government (geo-base data). All these objects have stable identifiers using official geo-data, thus, each of them behaves as a basis for integrating and relating other information resources to each other. The use of official identifiers ensures that established relationships will remain valid during the life cycle of the real-world objects. Such an approach helps us to be able to not only better understand and maintain the life cycle of the registered resources as single DTs but also discover the effects of distributed DTs on each other through the geo-temporal relationship between individual landscape objects. In addition, the catalog establishes semantic relations between these diverse distributed resources. The semantic interconnections between datasets help, on the one hand, to link related information resources to each other, and on the other hand, to give meaning to those interconnections by providing specific types of relationships such as “depends_on”, “child_of” or “links_to”. Moreover, the semantic relationships are also used to show how organisations are connected. It has to be noted that information resources in the catalog are directly managed by their own organizations, and the catalog manages the interactions between the organizations and stakeholders that are involved in the whole process.[2]

The catalog and its metadata model are designed taking into account the key aspects of the well-known metadata model standards such as Dublin Core, ISO 15119 and DCAT version 2. However, in contrast to existing catalogs, which are used in for example open data platforms, this catalog is not limited only to managing datasets and services, but it additionally handles functions at the level of individual physical things (like an individual agricultural parcel or machine). The catalog covers diverse types of resources from methods, projects, devices to the raw data, which are carried out or collected during different spatio-temporal ranges and owned or maintained by different stakeholders. Moreover, the management of these information resources in the catalog is strictly administered by their own organizations and hence, the catalog manages stakeholders and organizations that are involved in the whole process.

[2] The key characteristics and their implementations of the distributed DT catalog are shown in this video: https://youtu.be/YuEAyZ6Vm8Y

4 Integrating real-time information via remote access

Another important component of the SRADI distributed digital twin refers to the integration of real-time information on landscape objects. Critical factors in agricultural research can vary within a short time; delays of adequate reaction to these changes can potentially cause detrimental impacts. From a real-time connection to sensors in the physical landscape, researchers obtain temporally high-resolution, quantitative information about actual, prevalent conditions. Such information substantially improves the basis towards more efficient and effective planning.

In agricultural research, proprietary and non-interoperable systems represent a major barrier to adopting sensor technology. Facing this situation, our institute pursues developing a collaborative, high-performance, and affordable technological concept for sensor network infrastructures that is exclusively based on open and standardized technologies. The developed sensor data infrastructure is generally open to any wireless technology (Fig. 2). In addition to the existing solutions around mobile radio and WLAN, we decided to offer a radio network solution based on the LPWAN standard LoRaWAN, due to its power efficiency, long transmission range, communication on license-free frequency bands and low-cost hardware equipment [Lo15]. An open-source implementation for LoRaWAN from The Things Industry – The Things Network Stack – can here be used as suitable network server. The data management system builds upon OGC Sensor Web Enablement (SWE) standards, to ensure interoperability between different platforms and data sources. From the scope of the SWE standards, we chose the SensorThings API as the core element

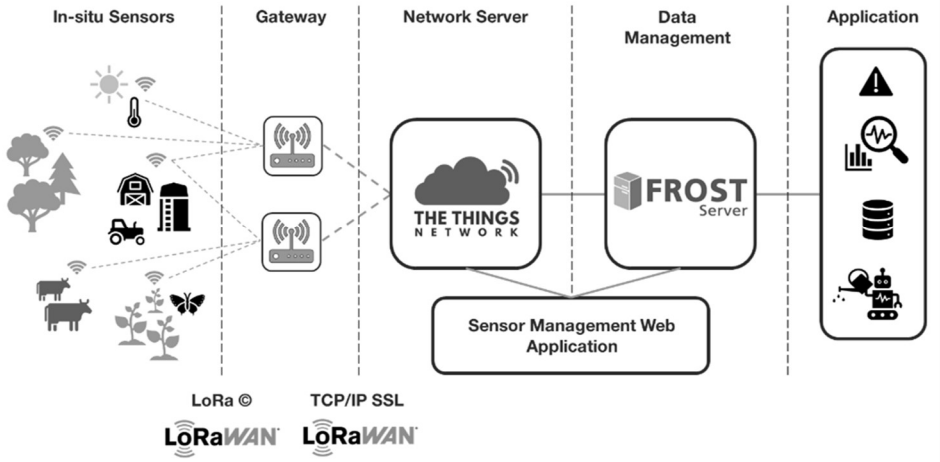


Fig. 2: End-to-end sensor data infrastructure with open-source implementations for network (TheThingsNetwork) and data management servers (FRaunhofer Opensource SensorThings-Server = FROST-Server) using the example of LoRaWAN-radio technology

for managing data streams [Li16]. This standard provides an open and consistent framework for connecting IoT devices, data and web applications. Accordingly, the proposed infrastructure integrates applications that implement this API, but can also be networked with other types of interfaces through existing adaptation tools. A crucial aspect also concerns the management of user access and identity. To ensure full trustworthiness, security and transparency for data management, all components are reliably secured by open-source, state-of-the-art security technologies.

5 Conclusions

In this paper we described our concept of SRADI as an information logistics framework for the digital transformation of agricultural research. The concept has been developed in the context of agricultural science and landscape research and is based on the requirements of a multidisciplinary agricultural research centre. This paper's main contributions are: 1) Development of a metadata model that provides support to the management of distributed and diverse types of information resources, which is the basis for the catalog. The catalog serves as a platform for a transparent exchange and integration of information. In order to ensure the interoperability, the metadata model is mapped and hence compliant with the DCAT version 2. 2) An Internet of Things (IoT) infrastructure that links real-time information from different real-life sources with a secure and user-friendly end-to-end data management system. 3) An implementation of the distributed DT, which relies on widely used open and international standards and open-source software, and a demonstration of the DT's capabilities and benefits for agricultural research. To further enlarge the information logistics framework, our future research will focus on integrating simulation models and analysis tools into the SRADI–distributed DT.

References

[Mo20] Moshrefzadeh, M. et.al.: Towards a Distributed Digital Twin of the Agricultural Landscape. Journal of Digital Landscape Architecture (5), 2020, doi:10.14627/537690019.

[Li16] Liang, S., et al.: OGC SensorThings API, Open Geospatial Consortium, 2016, [Online] Available at: https://www.opengeospatial.org/standards/sensorthings. Accessed: 05.09.2020.

[Lo15] LoRa Alliance: A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™, LoRa Alliance, [Online] Available at: //lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf. Accessed: 12.09.2020.

Pflanzenschutzmitteleinsparung durch boniturgestützte Applikationskarten – BoniPS

Julia Gitzel [1] und Jürgen Schwarz [1]

Abstract: Im Verbundprojekt BoniPS wird ein mobiler Softwareassistent entwickelt, welcher boniturgestützte Daten verwendet, um maschinenlesbare Applikationskarten zu erstellen. Diese zeigen Bereiche im Feld auf, in denen die Befallsschwellen überschritten wurden und somit eine Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Fungizide, Herbizide, Insektizide) nötig machen. BoniPS ist eine mobile Anwendung (App) für das Tablet und Handy. Der Schwerpunkt der App liegt auf der professionellen Unterstützung des Landwirtes bei der Identifizierung des Befalls und der Erstellung von einer standortspezifischen Applikationskarte. Die App kann den Zeitaufwand für die Bonitur reduzieren und wirkt sich durch die reduzierte Anwendung von pflanzenschutzmitteln positiv auf die Umwelt aus.

Keywords: Pflanzenschutz, Precision Farming, Pflanzenschutzmitteleinsparung, Applikationskarten, Bonitur

1 Einleitung

Die sparsame Anwendung von Pflanzenschutzmitteln ist nicht nur aus ökonomischen Gründen, sondern auch aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes dringend notwendig. Seit 2014 sind daher die allgemeinen Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes für Landwirte verbindlich. Der Bekämpfung eines Schaderregers muss eine Schaderregerkontrolle mittels geeigneter Methoden im Bestand vorausgehen. Im Laufe der Jahre wurden viele alternative Instrumente entwickelt, die das Risiko und die Behandlungsintensität im integrierten Pflanzenschutz minimieren sollen. Damit können Risiken und Auswirkungen der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (Insektizide, Fungizide, Herbizide) auf die menschliche Gesundheit und den Naturhaushalt verringert werden. Die Überwachung der Bestände erfolgt über Bonituren, welche meist komplex und zeitaufwendig sind. Auf Basis dieser Informationen und unter Berücksichtigung der Schwellenwerte muss die Entscheidung getroffen werden, ob eine Pflanzenschutzmaßnahme durchgeführt wird. Der Landwirt ist im Stande, den Bestand fachgerecht zu beurteilen und zu überwachen, um so eine Pflanzenschutzmittelanwendung abzuschätzen. Die teilflächenspezifische Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung von Schaderregern, wie Unkräutern, wird in der Praxis jedoch kaum angewendet.

[1] Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzungen, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, julia.gitzel@julius-kuehn.de, juergen.schwarz@julius-kuehn.de

Aus dem Wunsch heraus, die Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der Praxis zu fördern und ein modernes, praktikables Instrument für den teilflächenspezifischen Pflanzenschutz zu entwickeln, startete das Projekt BoniPS. Hier arbeiten das Julius Kühn-Institut, das Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und ländlichen Raum (TLLLR) mit der Software Firma LACOS und dem Praxisbetrieb Pahren Agrar zusammen, um einen Prototypen für ein durchgängig digitales Verfahren zu entwickeln. Dieses beinhaltet die Datenerfassung sowie die Erstellung von teilflächenspezifischen Applikationskarten für Pflanzenschutzmittel in Winterweizen, Winterraps und Erbse. Die Erstellung von Applikationskarten für den Pflanzenschutz hat sich bisher in der Breite der Praxis aufgrund des hohen Aufwandes für den Nutzer kaum durchgesetzt. Der Softwareassistent soll den zeitlichen Aufwand hierfür reduzieren.

2 Material und Methoden

2.1 Entwicklung des Softwareassistenten

Ziel des Projektes ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit welchem Landwirte und Lohnunternehmer einfach und mit fachgerechter Hilfe eines Softwareassistenten (App) Pflanzenbestände bonitieren und sich im Anschluss eine Applikationskarte erstellen lassen können. Die Anwendung der App soll für den Landwirt einfach beherrschbar sein. Mit Hilfe von BoniPS wird der Nutzer durch eine mehrschichtige Abfolge von notwendigen Schritten geleitet, die ein fachgerechtes Ergebnis von der Datenerfassung bis zur Erstellung der Applikationskarte sicherstellt. Daten aus Prognosesystemen, Warndienstmeldungen der Pflanzenschutzdienste sowie Einschätzungen aus vorher durchgeführten Überfahrten können zur fachlichen Unterstützung in die Entscheidungsfindung mit einbezogen werden.

Bevor der Nutzer mit der Erhebung beginnt, kann er auf dem von ihm ausgewählten Schlag eine „Boniturlinie“ festlegen. In der Praxis sind die allgemeinen Vorgaben zur Bonitur üblich [Fr97]. Dies beinhaltet eine Linienbonitur an 5 Punkten in einer Linie rechtwinklig zum Feldrand. Bei einer Schlaggröße von mehr als 10 ha wird eine zweite Linienbonitur empfohlen. Der Softwareassistent kann dagegen die Punkte je nach Schlagform gleichmäßig im Feld verteilen. Der Nutzer soll im besten Fall 8 bis 10 Punkte bonitieren. Er kann auswählen, ob eine hohe, mittlere oder niedrige Dichte an Punkten festgelegt werden soll. Es steht dem Nutzer weiterhin frei, die Boniturpunkte im Feld selbst zu wählen und dafür keine der vorgegebenen Linien zu nutzen.

Mithilfe von GPS kann sich der Nutzer zu den einzelnen Punkten navigieren lassen. Weiterhin können die Bewertungen eines Boniturpunktes auf alle anderen übertragen werden, wenn sich bei der Bonitur herausstellt, dass der Befall im Feld ähnlich ist.

2.2 Schaderregerprofile

Insbesondere zu Befallsbeginn oder am Anfang der Saison kann die Differenzierung der potentiellen Schaderreger schwierig sein. Daher sind in den 136 Profilen des Softwareassistenten alle Stadien (wenn möglich) des Erregers sowie das Schadbild abgebildet. Es werden zudem weiterführende Informationen zu den entsprechenden Organismen zur Verfügung gestellt. Dies umfasst unter anderem die Biologie der Schaderreger, befallsfördernde Faktoren und die Bekämpfungsschwellen der Offizialberatung. Um die Auswahl der Schaderreger übersichtlicher zu gestalten, werden nur Schädlinge angezeigt, welche zum Boniturzeitpunkt auftreten können. Außerhalb der Aktivitätszeiträume werden sie dem Nutzer nicht angezeigt. Es wurden Recherchen zu Bilddatenbanken und Bildrechten für die App durchgeführt und eigene Fotos eingefügt. Bisher sind Informationen zu den Schaderregern in den Kulturen Winterweizen, Winterraps und Erbsen in der App implementiert.

2.3 Ampelsystem

Aufbauend auf die Ergebnisse der Bonituren wird eine Handlungsempfehlung in Form eines Ampelsystems erstellt. Dabei steht grün für „unterhalb des Schwellenwertes“, gelb für „um den Schwellenwert“ und rot für „oberhalb des Schwellenwertes“. Die grünen und gelben Bereiche werden in der Applikationskarte als nicht zu behandeln ausgewiesen. Der Schwellenwert kann vom Landwirt in den Stammdaten einmalig zu Beginn des Erntejahres modifiziert werden, um den vorliegenden Bedingungen zu entsprechen.

Beispiel Rapsstängelrüssler (an 3 Tagen in Folge Kontrolle der Gelbschale):

1. < 9 Käfer/ Gelbschale (grün)
2. 9 – 11 Käfer/ Gelbschale (gelb)
3. > 11 Käfer/ Gelbschale (rot)

2.4 Applikationskarte

Zur Erstellung der Applikationskarte aus den Daten der Boniturpunkte wurde das Voronoi-Diagramm (Polygen-Methode) ausgewählt. Dieses Verfahren dient zur einfachen Darstellung der räumlichen Verteilung georeferenzierter Messdaten. Es ist besonders gut geeignet, um die flächige Verteilung von diskreten/binären Daten abzubilden (Ja/Nein-Entscheidungen). Es zeigt dem Landwirt somit in der Applikationskarte die zu behandelnden Bereiche (rot gefärbt) und die nicht zu behandelnden Bereiche (grün gefärbt) auf. Eine manuelle Anpassung ist jedoch möglich, um weitere Bereiche nicht zu behandeln (z. B. Schutzgebiete).

In Abbildung 1 ist eine Applikationskarte dargestellt. Die Bereiche um die Boniturpunkte (BP), an welchen die Schadschwelle überschritten wurde, sind rot schraffiert gekennzeichnet. Wenn der Befall unter der Schadschwelle (grün) oder um die Schadschwelle herum (gelb) liegt, werden die Bereiche als „nicht zu behandeln“ gekennzeichnet. Gelbe Boniturpunkte können manuell ausgewählt werden, um in die Behandlung einbezogen zu werden. Grüne Boniturpunkte können nicht zur Behandlung ausgewählt werden. Weiterhin steht dem Nutzer ein Tool zur Verfügung, um die Abstände zu Randbereichen einzustellen (5 Meter, 10 Meter etc.). Somit soll ein erster Beitrag zum Schutz von Gewässerrandstreifen und Hecken vorliegen.

Die Applikationskarte wird in einem herstellerunabhängigen Format bereitgestellt und kann auf das Maschinenterminal übertragen werden. Es wurden mehrere Wege der Übertragung zwischen Tablet und Terminal entwickelt. Mit der Möglichkeit der Übertragung vom Tablet via USB-Stick direkt auf das Terminal kann der Weg ins Büro eingespart werden.

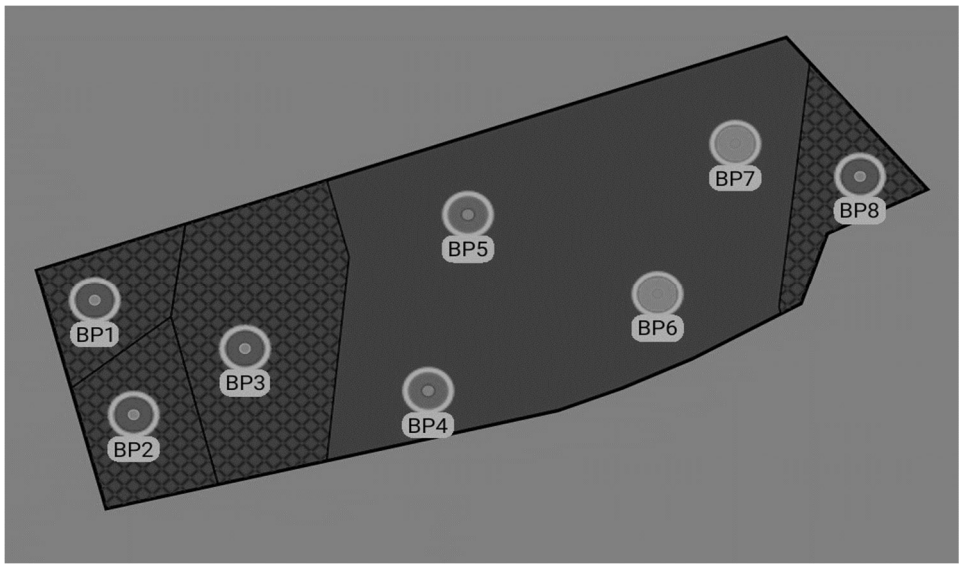


Abb. 1: erstellte Applikationskarte mithilfe des Interpolationsalgorithmus (schraffierter Bereich wird behandelt)

2.5 Feldtest unter Praxisbedingungen

Zur Datenaufnahme unter Praxisbedingungen und um Feedback zur Bedienbarkeit in den Boniturassistenten einbringen zu können, wurde ein Test mit 11 Betrieben durchgeführt. Alle für die Testphase gewonnenen Betriebe haben ihren Standort in Thüringen, um ähnliche Wetterverhältnisse, Bodenbedingungen und auftretende Schaderreger zu

gewährleisten. So konnte auch eine umfassende Betreuung durch Lacos in der beta-Phase sichergestellt werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Bei den ersten Bonituren der Testbetriebe konnte festgestellt werden, dass die Dauer der Erfassung für einen Boniturpunkt bei ca. 3 Minuten liegt. Bei einer üblichen Linienbonitur mit 5 Boniturpunkten ergibt sich ein Gesamtzeitbedarf von 15 Minuten/Bonitur (bei einem Schlag von durchschnittlich 15 ha). Vergleicht man diese vorläufigen Zahlen mit Angaben aus der Literatur [Ke15], so könnte eine Zeitersparnis angenommen werden.

Aufgrund der schnelleren Bewertung der Boniturpunkte sind die Landwirte motiviert, eine höhere Anzahl an Punkten zu bonitieren. So bewerteten die Testbetriebe im Schnitt 8 bis 10 Punkte pro Schlag. Das Verfahren bietet ihnen zusätzlich einen festen Ablauf.

Die GPS-basierte Punktenavigation funktionierte auch bei schwacher Netzabdeckung auf dem Versuchsfeld des JKI ohne Probleme. Von den Testbetrieben wurde ebenfalls keine Störung gemeldet.

Weiterhin wurde eine Umfrage der Testbetriebe durchgeführt und ausgewertet. Diese beinhaltete 25 Fragen. Aus der Umfrage ging hervor, dass 20 % der Nutzer einen, 20 % 3 und 20 % 6 Weizenschläge bonitierten. Die übrigen Testbetriebe bonitierten nicht im Weizen. Auf allen Schlägen wurde das Auftreten von Unkräutern und -gräsern im Durchschnitt dreimal untersucht. Eine Betrachtung der Insekten erfolgte zum Zeitpunkt der Umfrage nicht. 66,7 % der Betriebe gaben an, eine Bonitur auf Pilze durchgeführt zu haben, durchschnittlich 1,5-mal.

Im Winterraps bonitierten 80 % der Betriebe durchschnittlich 2,5 Schläge. Unkräuter und -gräser wurden in 66,7 % der Fälle auf 3 Schlägen bonitiert. Alle Nutzer erfassten zudem auf 3 Schlägen das Schadinsektenaufkommen. Hier spielte vor allem der Kohlschotenrüssler eine große Rolle.

40 % der Nutzer haben die Schaderregerprofile zur Erkennung der Schaderreger in allen Kulturen genutzt. Alle Nutzer gaben an, die auftretenden Schaderreger durch die Profile sicherer bestimmen zu können.

Es erfolgte weiterhin eine Umfrage zur Bedienbarkeit, um gegebenenfalls die Funktionen der App zu verbessern. Die Verbesserungswünsche werden in den weiteren Versionen berücksichtigt. Es wurde sich unter anderem gewünscht, dass nach dem Fertigstellen der Bonitur in der Gesamtübersicht noch eine Möglichkeit implementiert wird, um noch etwas zur allgemeinen Situation des Bestandes einfügen (z. B. ob dieser verkürzt werden muss oder eine Düngung nötig ist). Im Büro kann dann die Bonitur noch einmal geöffnet und dementsprechend die Maßnahmen komplett geplant werden.

Weiterhin kann nun auf vielfachen Wunsch hin eine Bonitur auf mehrere Schaderregergruppen, also z. B. Unkräuter und Schadinsekten gemeinsam, erfolgen.

4 Schlussfolgerung

Das Verfahren ist einfach beherrschbar, da der Nutzer von dem Software-Assistenten durch die komplexe Abfolge von Schritten geführt wird. Die App BoniPS ist eine Boniturhilfe mit der Möglichkeit, Applikationskarten zu erstellen. Die Anwendung der Software wird von den Testbetrieben als intuitiv empfunden, die Führung durch die notwendigen Schritte wird als einfach und flüssig wahrgenommen.

Durch die lückenlose und medienbruchfreie Erfassung, Verarbeitung und Nutzung der Daten von der Vorbereitung der Bonitur bis zur exakten teilflächenspezifischen Ausbringung wird eine völlig neue Qualität der situationsspezifischen und somit sparsamen und umweltschonenden Applikation der Pflanzenschutzmittel möglich.

Die App im Überblick erleichtert das Bonitieren, insbesondere auch für unerfahrene Mitarbeiter, und bildet eine Grundlage für eine fachgerechte Bonitur. Man kann davon ausgehen, dass es bei der Anwendung zu einer Zeitersparnis während des Bonitierens kommt. Weiterhin bietet der Softwareassistent eine lückenlose und fachgerechte Dokumentation des Pflanzenbestandes und der Befallssituation. Durch die einfache Erstellung von Applikationskarten kann es zur Reduzierung von Pflanzenschutzmittelausbringung und somit zu einer Kosten- und Zeitersparnis kommen.

Die Erhebungen zum Schaderregerauftreten können auch zur Validierung und Weiterentwicklung von Bekämpfungsschwellen im Ackerbau genutzt werden.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund des Beschlusses des deutschen Bundestages.

Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Literaturverzeichnis

[Ke15] Kehlenbeck, H., Saltzmann, J., Gummert, A., Helbig, J., Peters, M.: Bericht zum Projekt “Monitoringaufwand im integrierten Pflanzenschutz”. KTBL-Arbeitsprogramm Kalkulationsunterlagen 2015, 35 S., 2016.

[Fr97] Freier, B., Triltsch, H., Pluschkell, U., Jahn, M., Pallutt, B., Lindner, K., Burth, U.: “Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau – ein Leitfaden für Landwirte”. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 84 S., 1997.

Using four data mining techniques to predict grain yield response of winter wheat under organic farming system

Mosab Halwani[1] and Johann Bachinger[1]

Abstract: Organic farming is one of the resource-conserving and environmentally friendly systems that achieve the sustainability principles. An essential issue for sustainable agricultural planning is the accurate yield estimation for the crops involved in the crop rotation. In this study, the potential of predicting grain yield for organic winter wheat under varying soil and climate conditions was conducted by applying four different data mining techniques: multi linear regression (MLR), general linear model (GLM), artificial neural networks (ANN), and regression trees (RT). Considering the modelling accuracy and prediction accuracy, RT is the most robust technique for predicting grain yield of winter wheat at the study sites. MLR and GLM produced the poorest results for the data sets compared in this research. Such poor performance might be due to insufficient MLR and GLM techniques to model non-linear regression present in complex soil-weather-land management interactions. The ANN model ANN is also a promising tool for predicting grain yield of winter wheat particularly under low sample size, however, optimum model structures require further attention.

Keywords: multi linear regression, general linear model, artificial neural networks, regression trees, winter wheat yield, organic farming

1 Introduction

Empirical models attempt to determine functional relationships between crop yield and environmental conditions using the results from either previous research conducted in different environmental conditions or from expert opinion [Ha20]. In the traditional empirical models, the statistical relationship between controlled variables and crop yield is characterized depending on regression or correlation analyses. Generally, empirical crop yield models are relatively simple to build or develop, but the derived functional equation is locally specific, and it is thus difficult to generalise in other areas unless cultivation conditions are similar. Furthermore, the lack of non-linear modelling ability limits the use of regression-based empirical models to model quantitatively plant-soil-atmospheric interactions. Some machine learning and advanced sensing techniques have been recently introduced in agricultural sciences for predictive purposes. Artificial neural networks and regression trees algorithms are the most widely used numerical techniques to predict the crop yield [Ni19]. An important characteristic of those two techniques is their illustration of complex and non-linear relationships without rigorous assumptions regarding the

[1] Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Land Use and Governance, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Mosab.Halwani@zalf.de, jbachinger@zalf.de

distribution of samples. These methods are experiencing popularity for research areas where there is little or incomplete understanding of the problem to be solved, but where training data are available. The aim of the present work is to identify the best technological method for prediction within field variation in wheat yield, based on edaphic soil data and meteorological data.

2 Methods

2.1 Dataset used

In the present work, data used in the analysis have been collected from the following sources: agricultural data from a variety of trials in different federal states and meteorological factors from German Meteorological Service.

Input datasets cover a period from 2011 to 2019, amounting to about 2712 observations. In this period the yield of winter wheat varieties was assessed at 39 sites, located in 21 soil-climate regions, had 21 Pre-crop, and cultivated in 7 soil types.

2.2 Statistical models

The map of naturally coherent environments, the so-called soil-climate regions, was used to cluster the data based on areas which are having similar meteorological and edaphic characters [Ro07]. The independent variables in this research are a mixture of categorical (soil quality, Pre-crop) and continuous variables (meteorological data, soil index), so the multivariate normality assumption is not upheld. As a consequence, the techniques that could be used should have the ability to include both categorical and continuous independent variables as predictors. Four data mining techniques, multiple linear regression (MLR), General linear model (GLM), artificial neural networks (ANN), and regression trees (RT) are used to predict the grain yield of winter wheat.

The predictive performance of different models is compared by using two measurements: 1) modelling accuracy that measures fit of model for the data used to train the model, and 2) prediction accuracy that measures fit of trained model for the observed testing data set. The generalization potential of the created models was verified by comparing the obtained predicted with the observed wheat yields in the test samples set. Consequently, for model comparisons, the whole grain yield data was divided into training (1971 samples) and testing (741 samples) sets. The following parameters: R-squared statistic, Square root of the mean squared prediction error (RASE) and Average absolute error (AAE) are used as indicators of goodness-of-fit.

Ideally, increasing the training data improves the overall fit of models, but theoretically, more data does not always mean enhancement of accurate model. Considering the cost

and time necessary for executing farm experiments, particularly under organic agriculture system, the model was built using different sample sizes from (234 to 1971 samples) and fixed numbers of testing set (741 samples). To avoid the over-fitting of MLR, ANN and RT models, cross-validation procedure was used to split a training set randomly into 80:20 % training set: validation set, respectively.

3 Results

3.1 Predictive capability of variables

The predictive capability of the eight meteorological and edaphic factors was obtained using the regression analysis (standard least squares) on complete training data. Adjusted P-values were transformed to provide an appropriate scale for graphing known as LogWorth statistic, which is defined as -log10 (p-value). It can be seen that the predictor soil-climate region, with an average LogWorth value of 103.67, has the highest predictive capability. This is followed by Pre-crop (LogWorth=46.82), Soil type (LogWorth=22.39) and then the meteorological factors. Soil index was at the bottom of the variable list tested, however, its LogWorth (1.37) exceeds the minimum value of significant factor at the 0.05 level (1.3).

3.2 Comparison of data mining techniques

Results of performance quality criteria of data mining models in the present work are summarized in Figure 1.

Using the whole number of training set, RT shows very high modelling accuracies. This is followed by ANN, MLR and GLM. Using whole number of training set, RT model has the lowest prediction error measures, RASE and AAE, that were slightly higher in ANN model. MLR and GLR have higher RASE and AAE than RT and ANN. The Pearson correlation coefficients (r^2) between actual and predicted grain yield of winter wheat for RT, ANN, MLR and GLM models were found as: 0.85, 0.82, 0.57 and 0.57, respectively.

With the same order, RASE estimates were 5.8, 6.4, 9.9 and 9.9, respectively and the estimates of AAE were 4.4, 4.6, 7.7 and 7.8, respectively.

With the increase in sample size (Figure 1; left), ANN models show a rather different trend compared with the modelling accuracy of RT, MLR and GLM models. The r^2-value in ANN model fluctuated between 0.7 and 0.8 cross the sample size. There is a progressive increase of r^2-value for RT model with the increase in the sample sizes. In contrast, r^2-value for MLR and GLM models degreased progressively with the increase in the sample sizes. These trends disappear as of the third sample size with 468 training samples set, and r^2- values last constant up to whole number of training set. Considering the prediction error measures, RASE and AAE, the ANN model performs better than the other three

alternatives at the lowest sample sizes. As of second sample size with 351 training samples set, the RT model performs slightly better than ANN model and obviously better than MLR and GLM models. The RASE and AAE in RT model last steadily low, while RASE and AAE in ANN model waved cross the number of simple.

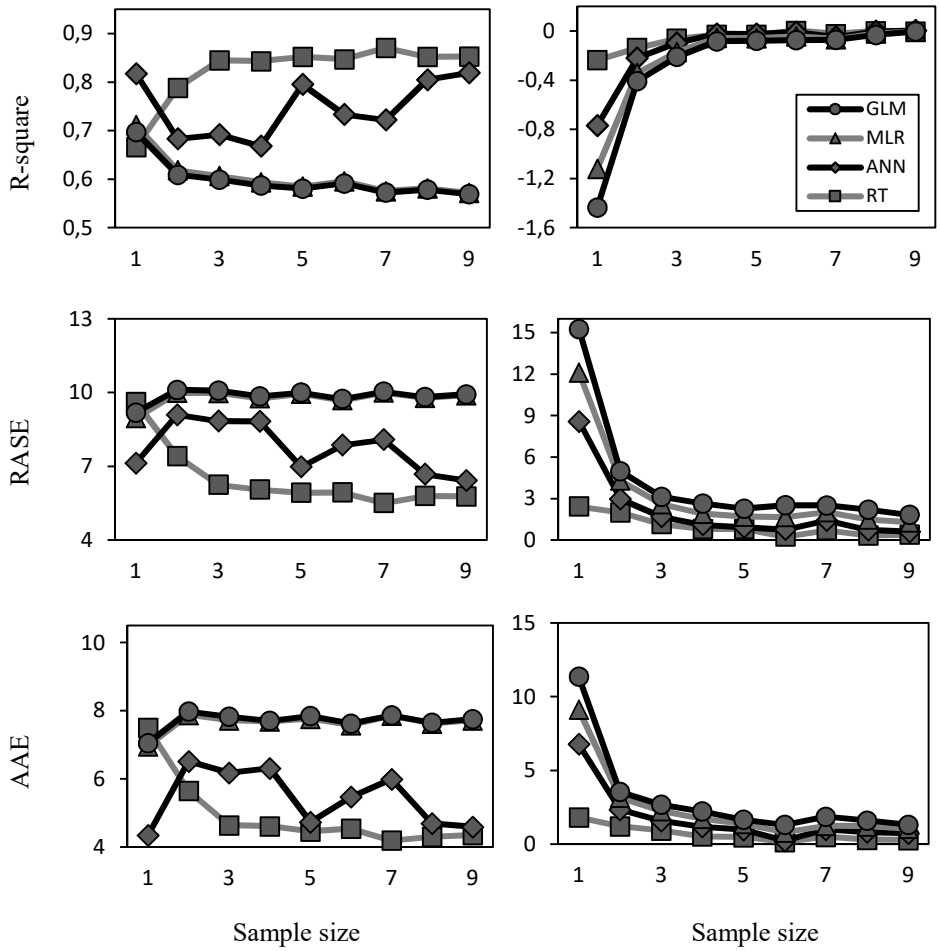


Fig. 1: On the left side: modelling accuracy of four data mining techniques with the increasing number of samples. On the right side: the generalization ability (difference between modelling and prediction accuracy) of four data mining techniques with the increasing number of samples

Considering the r^2-value, the difference between prediction accuracy and modelling accuracy is relatively large with small size of training data sets, but the difference decreases with an increase in the number of training data sets (Figure 1; right). It seems

that at the fourth training set with 585 training samples set, the prediction of accuracy of all four models reached the same levels of modelling accuracy. It is also informative that there is virtually no difference in (prediction accuracy-modelling accuracy) between all models despite the great difference in modelling accuracy. Consequently, the difference between modelling accuracy and prediction accuracy in term of prediction error measures, RASE and AAE, becomes smaller with an increasing number of training data sets. The difference in RASE and AAE between modelling and prediction accuracies reached the lowest values at the 5th and 6th training samples sets, respectively (Figure 1; right). After that the difference stay constant with a further increase in the number of training samples sets.

4 Discussion

Crop prediction is based on historical empirical data, which most often appear in the form of quantitative and qualitative data, such as edaphic, meteorological factors, and land management. Using a large number of variables to generate a model gives the possibility of explain every noise in the data, however it cannot be used for strategic planning of cropping system [Ni19]. Therefore, in this work, the models generated based on quantitative and qualitative data available for each farmer when planning crop rotations. The predictors used in this study were detected based on the results of previous predictive scientific studies in Germany. The main predictors are soil-climate region, soil type, soil index, temperature, precipitation and pre-crop [Sc04]. Moreover, literature reveals that the soil-climate region associated with pre-crop and soil type factors have high importance in Nmin prediction in soil, which plays a decisive role in winter wheat yield [DR18]. Our results indicated that all eight variables have significant correlations with grain yield of winter wheat and can be used as predictors. Two prediction error measures were used in the work, i.e., square root of the mean squared prediction error (RASE) and average absolute error (AAE).

The poorest results of both linear-based models MLR and GLM in terms of modelling accuracy and prediction accuracy refer to its poor ability to model non-linear causal relationships present in complex soil-weather-land management interactions. The other two non-parametric models, RT and ANN, show higher modelling and prediction accuracy than MLR and GLM (Figure 1), considering its low prediction error measures. This finding is in consonance with the results of [PHV05], who used the data from on-farm experiment in Eastern Uganda.

Based on the overall modelling accuracy (Figure 1; left) and its generalization potential (Figure 1; right), we can conclude that RT outperforms the other three models as a grain yield model followed by ANN and MLR. GLM shows the poorest results. Considering the training samples size, the prediction errors RASE and AAE becomes progressively smaller when more samples are included in the training data set of the model. Our results indicate a high ability of ANN model to predict the grain yield at small number of training samples

[Ni19]. Inconstancy of ANN modelling accuracies refers to the need of further attention by building the parameterization procedures.

References

[DR18] Döring, Thomas; Reckling, Moritz: Detecting global trends of cereal yield stability by adjusting the coefficient of variation. European journal of agronomy 99, S. 30-36, 2018.

[Ha20] Hadasch, S.; Laidig, F.; Macholdt, J.; Bönecke, E.; Piepho, H.P.: Trends in mean performance and stability of winter wheat and winter rye yields in a long-term series of variety trials. Field Crops Research 252/107792, S. 1-11, 2020.

[Ni19] Niedbała, G.; Nowakowski, K.; Rudowicz-Nawrocka, J.; Piekutowska, M.; Weres, J.; Tomczak, R. J.; Tyksiński, T.; Pinto, A. Á.: Multicriteria prediction and simulation of winter wheat yield using extended qualitative and quantitative data based on artificial neural networks. Applied Sciences 9/ 2773, 2019.

[PHV05] Park, S.J.; Hwang, C.S.; Vlek, PLG.: Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management conditions. Agricultural Systems 85, S. 59-81, 2005.

[Ro07] Roßberg, Dietmar; Michel, Volker; Graf, Rudolf; Neukampf, Ralf: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland, 2007.

[Sc04] Schulzke, Dietrich: Welchen Einfluss haben die ökologischen Rahmenbedingungen in definierten Naturräumen auf den Ertrag und die Krankheitsanfälligkeit beim Wintergetreide in Deutschland? Archives of Agronomy and Soil Science 50, S. 221-236, 2004.

Towards a common understanding of digital transformation in agriculture

Bibliographic analysis and illustration of research topics

Veronika Hannus[1] and Thomas H. Kolbe[1,2]

Abstract: This article presents a literature-based approach to delimitate the topic of 'digital transformation in agriculture'. We elaborate a Scopus search string and find six clusters that form and describe this new field of research. Most prominent topic clusters are remote sensing, geographic information systems, internet-of-things and image processing, with the last two being most topical. Social science topics seem to be underrepresented or to have not yet established a direct link in this new research area via key terms. Further, European publications reflect the full range of worldwide research, although there is a slightly stronger focus on environmental issues.

Keywords: digitalization, smart farming, bibliometric analysis, visualization of similarities (VOS)

1 Introduction

The 'digital transformation' is currently one of the most prominent developments in agriculture [KR20]. In addition to precision farming tools [Fi19], farm information management systems (FIMS) [Fo15], research on secure data infrastructure, sensor systems and internet of things (iot) in farming [Mu19] or agricultural robots [Lo19] are becoming increasingly important. At the same time, there are great expectations placed in these technologies to reduce negative social or environmental impacts of farming (e.g. by improving the efficiency of nutrient flows), both in Europe and worldwide [Wa17]. This generates a steady growth of the related literature. We find literature on digitalization or digital technologies in all agriculture-related research areas, starting from social sciences [KJL19], behavioral economics [Ja19], to animal husbandry [JMA17], crop production [Ke20], and – of course – technology [Ba19]. In this context, the terms *Smart Farming*, *Digital Agriculture* or *Agriculture 4.0* are often used. However, a common understanding of 'digital transformation in agriculture' as a research area is still missing. Our group at the World Agricultural Systems Center of the Technical University of Munich investigates on future research trends and upcoming topics in agricultural sciences. Therefore, the question raises if the terms listed above are pertinent and thus, a literature research based on these terms delivers a sufficient overview of the topic. We use a bibliometric literature analysis to

[1] Technical University of Munich, World Agricultural Systems Center, Liesel-Beckmann-Str. 2, 85354 Freising, veronika.hannus@tum.de, https://orcid.org/0000-0002-7384-3928
[2] Technical University of Munich, Chair of Geoinformatics, Arcisstr. 21, 80333 Munich, thomas.kolbe@tum.de, https://orcid.org/0000-0003-1456-0423

address the following research questions: (Q1) Which fields of research cover a literature database search using the search terms *smart* or *digital* combined with *farming* or *agriculture* or *agriculture 4.0* or *farming 4.0*? (Q2) Which research trends, gaps and rising topics can we identify from literature? (Q3) Is there a spatial variation of research topics or term-use, respectively? (Q4) Is the result of a keywords-based literature search sufficient to address the complete research area?

This article first outlines the research design and applied methods (section 2). Section 3 presents results of different Scopus database searches. After delimitation of a core set of literature, we provide a graphical analysis of research topics. Section 4 briefly discusses interrelations found in the literature and gives an outlook on trends and required research.

2 Research methodology and design

2.1 Research design and database search

In some of the expected focus areas, e.g. engineering and computer sciences, conference papers are of great importance. Thus, we use the Scopus database for the literature search. Scopus has a large repository of scientific journal articles. In addition, it has a bigger stock of conference contributions compared to other scientific literature databases. We conducted several online literature searches with Scopus to iteratively optimize the search string and generate a final core set of literature[3]. Our starting point was a search string with a combination of the terms *smart* or *digital* with *farming* or *agriculture* or *agriculture 4.0* or *farming 4.0*[4]. The results of the literature analysis' refinement by a stepwise-optimization of the search string are shown in result section 3.1.

2.2 Bibliometric mapping and clustering

We used the R-tool 'bibliometrix' to analyze the contribution of different European countries and single journals. The clustering and illustration of the publication trends and research topics we performed with the software VOSviewer (vers.1.6.15). Van Eck and Waltman [EW10] developed the tool at the Leiden University. It enables the visualization of similarities (VOS) by providing terms network maps based on cluster analysis.

[3] We limited all performed searches to conference papers, articles and reviews, and results in English language; limitation in time periods or countries are indicated in the analyses' explanation if applicable.

[4] TITLE-ABS-KEY calls a search in the title, abstract and keywords, whereby the keywords include author-keywords and so called 'indexterms'. Indexterms are provided by the respective journal. The asterisk (*) is a wildcard that indicates Scopus to search for different words around the stem e.g. for *farm** this is *farming, farms, farmer.* Quotation marks (") indicate that the exact combination of letters is used for the search.

3 Results

3.1 Stepwise refinement of the search string

Table 1 displays the quantitative and qualitative findings of our progressive development of an appropriate and comprehensive search string for the Scopus database. Starting from an initial string[5], we improved the search in four rounds leading to a final string[6]. The results of the initial string lacked publications on methods and technologies linked to precision farming (e.g. on remote sensing and image analysis) and precision livestock farming. Further, the results show a strong focus on climate-smart agriculture research (Q1).

Search[3,4]	Result°	Main findings	Consequence
No. 1[5]	2,250	- animal sciences are missing - *'climate change'* very present, many public. with focus on *'climate-smart agriculture'*	➔ include: *"precision livestock"* ➔ exclude: *"climate-smart"* and *"climate smart"*
No. 2	2,322	- precision farming related topics are under-represented e.g. remote sensing	➔ extend search to include more publications using *"digital"* and (*"farm*"* OR *"agricult*")*
No. 3	12,319	- more relevant publications on digitalization in agriculture - high share of irrelevant public.	➔ separate searches in author keywords / title + abstract; ➔ exclusion of irrelevant terms
No. 4[6]	7,108	- representative set of literature	➔ core set for further analyses
No. 5	1,125	- bandwidth of reverenced terms and limitations similar to No. 1	➔ same problems occurs like in search No. 1 (Q4)

° Number of resulting publications (2000-2021), status as of 20.10.2020

Tab. 1: Development of search strings on *'digital transformation in agriculture'*-literature

We know from literature that digital transformation in agriculture started with precision farming technologies. Thus, after the second search, we evaluated additionally whether the results of our search overlaps with precision agriculture literature. Figure 1 contrasts the development from 2000-2020 in numbers of publications of search no. 2 and a TITLE-ABS-KEY-search[4] on *"precision farming"* or *"precision agricult*"*. We find the number of publications has strongly increased since 2016, both on precision farming/agriculture and on smart farming/agriculture with the latter rising up to two-thirds of the first in 2019.

[5] Initial string: *TITLE-ABS-KEY ("smart farm*") OR ("smart agricult*") OR ("digital* farm*") OR ("digital* agricult*") OR ("agriculture 4.0") OR ("farming 4.0")*

[6] Final string: *(AUTHKEY ("smart farm*") OR ("smart agricult*") OR ("digital* farm*") OR ("digital* agricult*") OR ("agriculture 4.0") OR ("farming 4.0") OR ("precision livestock")) OR (TITLE-ABS ("smart farm*") OR (digital* AND farm*) OR (digital* AND agricult*) OR ("agriculture 4.0") OR ("farming 4.0")) AND NOT (TITLE-ABS-KEY ("climate-smart") OR ("climate smart") OR ("wind farm*") OR ("fish farm*") OR ("digital dermatitis") OR ("digital cushion") OR("digital gene") OR ("digital RNA") OR ("tag digital") OR ("digitalis") OR ("farmac*"))*

The figure illustrates in black bars only a small overlap of both. Further, results on *precision farming/agriculture* excluding *smart farming/agriculture* are displayed in light grey, and in grey results on *smart farming/agriculture* excluding *precision farming/agriculture*.

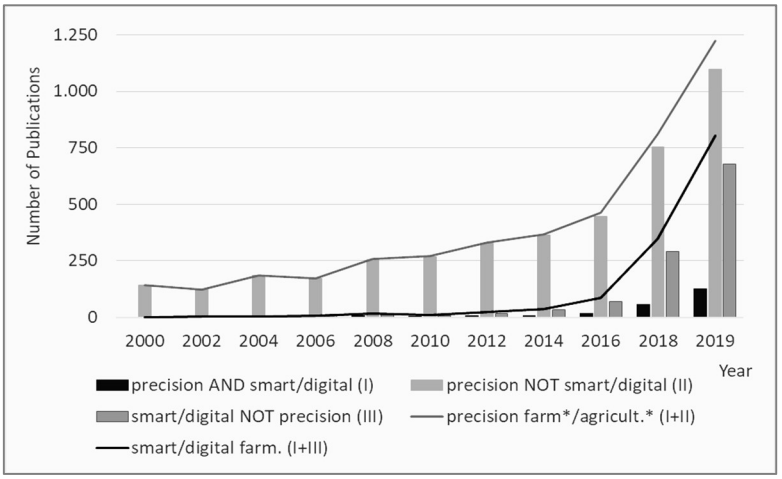


Fig. 1: Comparison of scientific output on different search strings 2000-2019

3.2 Publications analysis: worldwide, in Europe and in Germany

In the core literature set 7,108[7] articles, conference proceedings and reviews have been published since 2000, of them 1,892 (26.6%) in Europe and 387 (5.4%) in Germany. Worldwide we find an ongoing, increasing trend in publications, with a steep growth since 2017. In Europe, the analogue trend started one year later. In contrast, in Germany there has been only a slight increase so far. The United States of America contributed the most publications (1,261 publ.), followed by China (875 publ.) and India (803 publ.). The journal *'Computers and Electronics in Agriculture'* has the highest journal share with 2.5 %.

3.3 Terms analysis

The terms cluster map in Figure 2 illustrates the most prominent topic clusters based on worldwide literature from 2000 to 2020. We identify six different content-related clusters in research. These are described by the following terms: **internet-of-things** (iot), precision agriculture, agricultural robots, smart farming, sensor (CI); **geographic information systems** (gis), digital elevation models (dem), land use, agricultural land (CII); **soils and mapping**, soil surveys, digital mapping (CIII); remote sensing, crops, forestry, unmanned aerial vehicles (uav) (CIV); **precision livestock farming**, animal, nonhuman (CV), and

[7] Status: for 2020 as of 22.10.2020

image processing, image analysis, algorithm (CVI). A performed terms density analysis confirms gaps in the literature. There is a smaller publication activity worldwide between CI and CII. Further, CV is connected only slightly to the other clusters. A terms occurrence analysis illustrates that CI, CV and CVI contain very recent publications, whereas CII and CIV consist mainly of elder conference papers, articles and reviews (Q2).

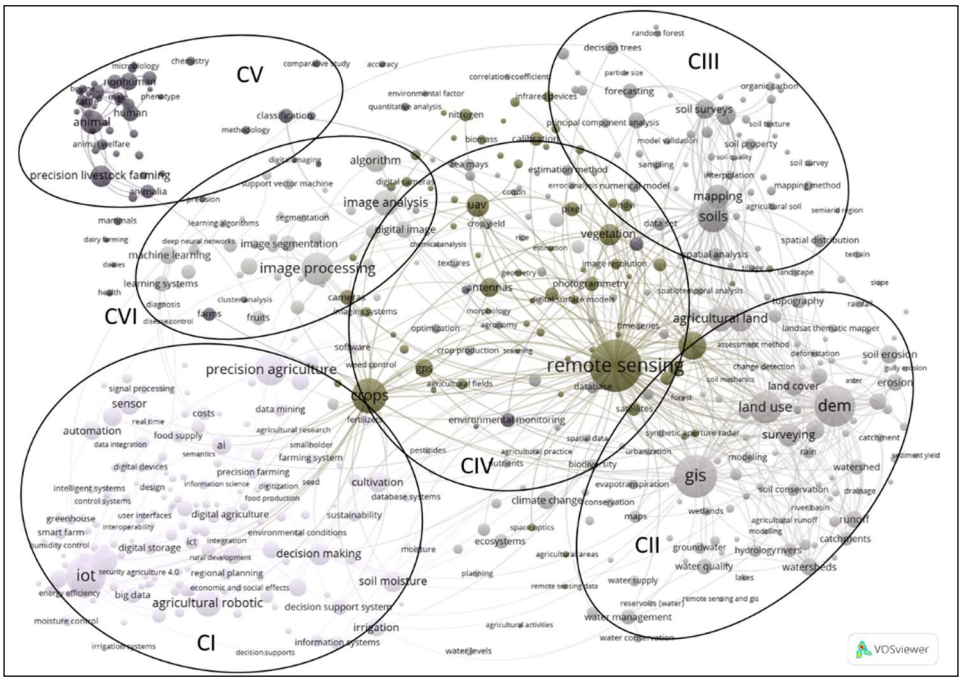


Fig. 2: Terms cluster map on digital transformation in agriculture

In general, we find similar trends in the European literature. However, two of the identified six cluster differ a little. First, we reveal a separate cluster on environmental monitoring, digital terrain models, and catchments between cluster CI and CII. Second, CVI melts together with its neighbors (Q3). Thus, we notice a small difference in the research focus'.

4 Discussion and Conclusion

We observe a small overlap in the literature on precision farming and on digitalization in agriculture. This indicates within the publications not a replacement in terms, but the emergence of an independent, new research area. Still, the most important topics clusters in this new thematic field are remote sensing, gis, and image processing; all of these in connection with environmental challenges or new, 'smarter' technologies e.g. unmanned aerial

vehicles. These clusters are closely linked to precision farming technologies, whereas image processing and image analysis is amongst the high topical research topics. Two separate clusters on internet-of-things [cf. Mu19] and precision livestock add new aspects to the three topics mentioned first. Furthermore, social sciences are represented only to a very small extent. For completing this interdisciplinary new research area, we suggest to intensively investigate social and economic aspects of the emerging technologies [Ba19, Ke20, KJL19]. Further, future research should investigate the development of the research clusters over time. We reveal no major differences comparing European and worldwide literature. Although we find a slightly stronger focus on environmental issues in European publications, they reflect the full range of worldwide research.

References

[Ba19] Barnes, A. P. et al.: Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. Land Use Policy, 2019, 80; pp. 163–174.

[EW10] van Eck, N. J.; Waltman, L.: Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 2010, 84; pp. 523–538.

[Fi19] Finger, R. et al.: Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. Annual Review of Resource Economics, 2019, 11.

[Fo15] Fountas, S. et al.: Farm management information systems: Current situation and future perspectives. Computers and Electronics in Agricult., 2015, 115; pp. 40–50.

[Ja19] Jakku, E. et al.: "If they don't tell us what they do with it, why would we trust them?" Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 2019, 90-91; p. 100285.

[JMA17] Jukan, A.; Masip-Bruin, X.; Amla, N.: Smart Computing and Sensing Technologies for Animal Welfare. ACM Computing Surveys, 2017, 50; pp. 1–27.

[Ke20] Kernecker, M. et al.: Experience versus expectation: farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe. Precision Agriculture, 2020, 21; pp. 34–50.

[KJL19] Klerkx, L.; Jakku, E.; Labarthe, P.: A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 2019, 90-91; p. 100315.

[KR20] Klerkx, L.; Rose, D.: Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? Global Food Security, 2020, 24; p. 100347.

[Lo19] Lowenberg-DeBoer, J. et al.: Economics of robots and automation in field crop production. Precision Agriculture, 2019, 16; p. 137.

[Mu19] Muangprathub, J. et al.: IoT and agriculture data analysis for smart farm. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 156; pp. 467–474.

[Wa17] Walter, A. et al.: Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114; p. 6148.

Untersuchung der teilflächenspezifischen Ertragserfassung von Großmähdreschern in Winterweizen

Josef Hauser[1], Franz-Xaver Maidl[2] und Peter Wagner[1]

Abstract: Ziel dieser Arbeit ist die Überprüfung der Ertragserfassung von Großmähdreschern. Die Genauigkeit der Ertragserfassungssysteme konnte in den letzten Jahren stark verbessert werden, das zeigt die Überprüfung mittels Parzellenmähdrescher und Rückwiegung auf einer Fuhrwerkswaage. Mithilfe der Messung von Reflexionswerten im Winterweizen wurde versucht, analog der Ertragsaufzeichnung kommerzieller Großmähdrescher Ertragsunterschiede festzustellen. Die Beziehung der gemessenen Erträge zum REIP-Index in verschiedenen Vegetationsstadien konnte nicht eindeutig gesichert werden. Eine Auswahl geeigneter Vegetationsindices bzw. Messverfahren sowie die methodische Herangehensweise zur Ertragsprognose bleibt zu prüfen.

Keywords: teilflächenspezifische Ertragserfassung, REIP-Index

1 Einleitung und Problemstellung

Der effiziente Einsatz von Düngemitteln liegt vor allem aufgrund ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte im Interesse des Landwirts. Deshalb ist eine zunehmende Effizienz auch in der Verteilung von Düngern auf der Fläche zu forcieren. Ein Ansatz ist die sensorgestützte, teilflächenspezifische Düngung. Vegetationsindices wie der Red Edge Inflection Point (REIP) dienen schon seit längerem der Schätzung von Biomasse, N-Aufnahme und daraus abgeleiteten Parametern für die Stickstoffdüngung. Der REIP-Index hat sich für deutsche Standortverhältnisse als besonders geeignet herausgestellt [LM05]. Vor allem zur zweiten und dritten N-Gabe im Winterweizen zeigt der Einsatz von Reflexionssensoren Vorteile. Für eine noch bessere Bemessung sowohl der Stickstoff- als auch der Grunddüngung ist eine Hinzuziehung von Ertragskarten angezeigt. Aus Spätmessungen zu EC 65 können diese über den REIP-Index erstellt werden, um sie für nachfolgende Düngejahre einzusetzen. Die große Schwäche der von Großmähdreschern (GMD) erfassten Ertragswerte liegt in ihrer unzureichenden Messgenauigkeit. Gründe dafür sind sowohl systemischer als auch technischer Natur [MA19]. In dieser Arbeit sollen zwei Forschungsfragen geklärt werden: 1. Wie exakt werden Erträge von Großmähdreschern auf teilflächenspezifischer Ebene erfasst? und 2. Lassen sich Ertragsunterschiede mit einer späten REIP-Messung zu EC 65 in ausreichender Genauigkeit erkennen? Für den ersten Aspekt dieser Arbeit soll ein teilflächenspezifischer Exaktdrusch mit Rückwiegung für Aufklärung sorgen. Der zweite Teil soll als Vorstufe für die Erzeugung exakter Ertragskarten

[1] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Betriebslehre, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Straße 4, 06120 Halle (Saale), josef.hauser@landw.uni-halle.de bzw. peter.wagner@landw.uni-halle.de
[2] Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising, maidl@wzw.tum.de

mithilfe des REIP-Index im Winterweizen dienen. Dabei wird vorerst nur auf die Beziehungen des REIP-Index mit den Erträgen eingegangen.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsdesign und -standort

Die Versuchsfläche 7212 (Tankstelle) gehört zum Betriebsverbund Hof Pfaffendorf in Sachsen-Anhalt und umfasst eine Fläche von 51,6 ha. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 475 mm in der Region. Der überwiegende Anteil der Bodenart ist Schwarzerde in der Bodengruppe 4. Am 18.09.2019 wurde auf dem Schlag, auf Winterraps folgend, Winterweizen der Sorte Chiron mit einer Saatstärke von 300 Körnern pro m^2 gedrillt. Für das Versuchsdesign wurden quadratische Rasterzellen mit einer Kantenlänge von 36 m, entsprechend der Fahrgassenabstände angelegt. Auf dem Versuchsschlag wurde ein Stickstoffdüngeversuch durchgeführt. Somit sollte unter anderem eine entsprechende Ertragsheterogenität herbeigeführt werden, welche eine adäquate Überprüfung der Ertragserfassung zulassen sollte.

2.2 Ertragserfassung

Wie in Abbildung 1 dargestellt, erfolgte die Messung der Erträge auf insgesamt 10 Streifen in Bewirtschaftungsrichtung des Schlages. Die Abgrenzung der Streifen erfolgte anhand der zugrundeliegenden Parzellen, wodurch am Vorgewende jeweils genug Fläche für die Füllungs- und Entleerungsphase des Großmähdreschers zur Verfügung stand. Um das Ergebnis nicht zu verfälschen, wurde zudem darauf geachtet, dass keine Fahrgassen in den Streifen des Großmähdreschers liegen. Zur Überprüfung der Ertragserfassung des GMDs wurde innerhalb des Erntebereichs des GMDs eine Spur für den Parzellenmähdrescher (PMD) angelegt bzw. vorweg geerntet (Abb. 1). Die effektive Arbeitsbreite des Großmähdreschers (Claas Lexion 780) betrug 12,20 m, jene des Parzellenmähdreschers 1,5 m. Somit ergaben sich Auflösungen von 116 m² beim GMD (9,5 m Abstand der Ertragsmesspunkte) sowie 45 m² beim PMD. Die Ertragserfassung am GMD kann in 8 Teilbreiten erfolgen, womit eine Teilbreite (152,50 cm) ziemlich exakt jener Breite des Schneidwerks am PMD entspricht. Die Ertragserfassung über den GMD konnte so auf 7 vollen Teilbreiten erfolgen. Damit es zu keiner Datenverzerrung in Längsrichtung kommt, wurden die Zwischenbereiche von jeweils 3 m vor und nach der Parzellengrenze separat erfasst. Das ergibt eine Streifenlänge von 30 m in jeder 36-m-Parzelle (siehe Hervorhebung Abb. 1). Die Streifen wurden von eins bis zehn durchnummeriert, beginnend mit dem längsten Streifen im Norden der Versuchsfläche.

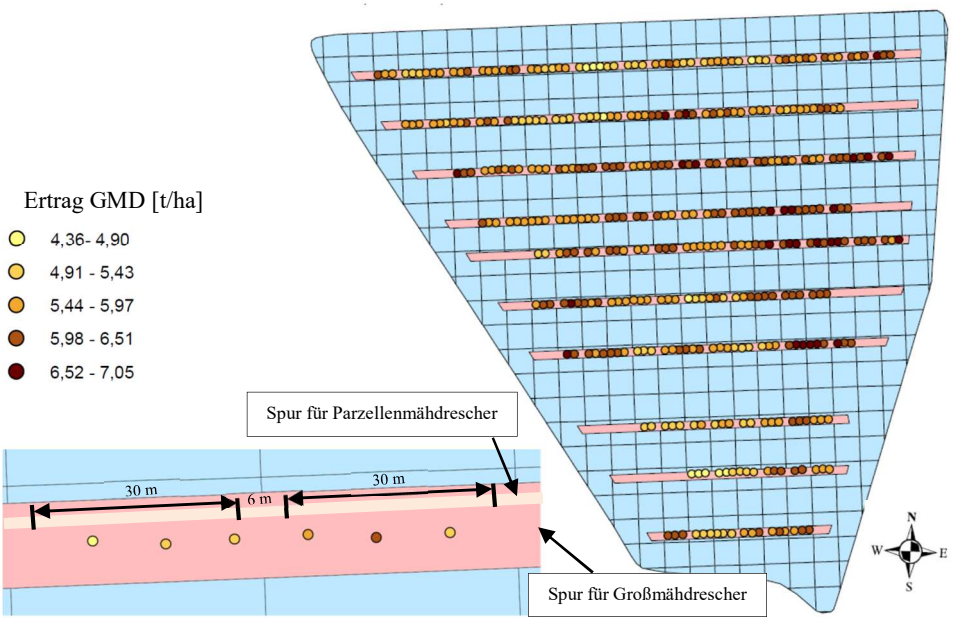


Abb. 1: Versuchsfläche mit Versuchsdesign und Ertragsmesspunkten des Großmähdreschers

2.3 Reflexionsmessungen

Die Reflexionsmessungen wurden mit einem Yara N-Sensor (Passive Light Source), der auf dem Schlepperdach installiert war, durchgeführt. Der Yara-N-Sensor misst mit einem Abstand von 3 m zur Fahrgassenkante eine Breite von jeweils 3 m links und rechts der Fahrgasse. Der Abstand der Messpunkte in Längsrichtung betrug im Mittel 4,2 m, was zu einer Auflösung von ca. 25 m² führte. Pro ha wurden somit rund 60 Messpunkte ermittelt, welche rund 17 % der Fläche entsprechen. Die Messungen fanden am 16.04.2020 (EC 32), 19.05.2020 (EC 49), 25.05.2020 (EC 55), 08.06.2020 (EC 65) und am 18.06.2020 (EC 75) immer zwischen 9:00 und 15:00 Uhr statt. Die Log-Dateien wurden im Field-Scan-Modus erstellt und im Originalformat eingeholt, womit die Reflexionsdaten aller benötigten Wellenlängen zur eigenen Berechnung des REIP-Index genutzt werden konnten.

2.4 Datenverrechnung

Im Ergebnisteil werden zwei Varianten zur Überprüfung der Ertragserfassung am Feld gerechnet. Erstens die Wiegung der gesamten Erntemenge eines Streifens auf der Hofwaage. Dies soll vor allem zur Güteüberprüfung der Ertragsschätzung des PMDs über die gesamte Arbeitsbreite des GMDs dienen. Dazu wurden alle Wiegungen des PMDs und alle Ertragspunkte des GMDs eines Streifens zusammengefasst. Und zweitens die bereits angesprochene kleinräumige Kartierung über den GMD auf Parzellenebene (30 x 12,2 m

sowie 36 x 36 m). Zunächst wurden für den Vergleich mit dem PMD nur jene Ertragspunkte in die Betrachtung mit aufgenommen, welche innerhalb des Erfassungsbereichs des PMDs lagen (30 x 12,2 m). So konnten überwiegend 3 Ertragspunkte innerhalb der Länge von 30 m zugeordnet werden. Zusätzlich wurde ein Vergleich mit den Ertragspunkten innerhalb der 36 x 36 m-Rasterzellen angestellt, um die Stabilität der Daten zu überprüfen. Alle Erntedaten wurden auf eine Basisfeuchte von 14 % korrigiert. Für alle Reflexionsmessungen wurde der arithmetische Mittelwert für das 36 x 36 m-Rasterdesign errechnet. Mithilfe des PMDs wurde jeweils eine Erntefläche von 45 m² (30 m x 1,5 m) über eine integrierte Waage direkt am Feld gewogen.

3 Ergebnisse

Der Ertrag der Versuchsfläche wurde durch Wiegung auf der Hofwaage auf 5,58 t/ha bemessen. Die Aufzeichnung des GMDs ergab im Mittel der Parzellen 5,85 t/ha, jene des PMDs 5,75 t/ha. Insbesondere die Standardabweichung des PMD-Ertrags war mit 0,59 etwas höher als die des GMDs mit 0,44. Der PMD schnitt beim Ergebnis der streifenweisen Rückwiegung mit einer mittleren absoluten Abweichung vom tatsächlichen Ertrag von 0,18 t/ha bzw. 3,40 % etwas präziser ab als der GMD (0,23 t/ha bzw. 4,18 %). Die Beziehung der beiden Ertragserfassungen ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß von 0,32 zeigt eine marginale Abhängigkeit beider Variablen. Zwischen der Ertragserfassung via GMD und PMD ergibt sich über die gesamte Stichprobengröße eine lineare Korrelation von 0,57 sowie eine Konkordanz Korrelation von 0,54.

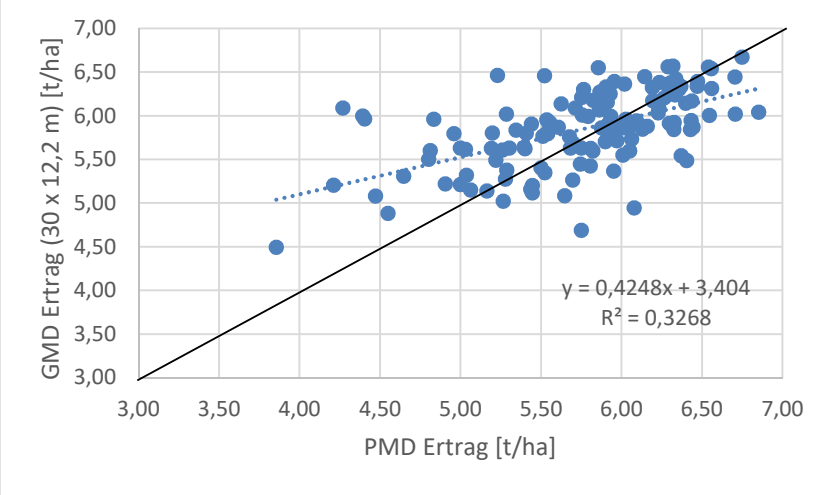


Abb. 2: Beziehung zwischen Ertragserfassung PMD und GMD (30 x 12,2 m)

In Tabelle 1 sind die Korrelationen zu Ertragsmessungen und REIP-Werten aufgetragen. Bei der streifenweisen Betrachtung kommen deutliche Unterschiede zum Ausdruck. Als Basis wird der erfasste Ertrag des PMDs verwendet. Dabei ergeben sich die höchsten Korrelationen mit den GMD-Daten auf derselben Fläche (30 x 12,2 m, Spalte 2). Werden die GMD-Daten auf die 36 x 36 m-Rasterzellen gemittelt (Spalte 3), ergeben sich deutlich niedrigere Korrelationen, wenngleich auf einem hohen Niveau. Bei den Beziehungen zu den REIP-Messungen prägt sich ein unterschiedliches Bild. So kommt es teilweise zu sehr hohen Korrelationen (Streifen 2, 6, 9 und 10). Andere Streifen fallen in der Korrelation deutlich ab, insbesondere die Streifennummern 1, 3, 5, 7 und 8.

Streifen	n	Abstand PMD zu YNS [m]	PMD 30x1,5 m	GMD 30x12,2 m	GMD 36x36 m	REIP EC32	REIP EC49	REIP EC55	REIP EC65	REIP EC75
1	21	9	1,00	0,62	0,64	-0,02	0,18	0,29	0,38	0,34
2	18	0	1,00	0,82	0,58	0,16	0,34	0,51	0,73	0,80
3	18	2	1,00	0,86	0,70	0,07	-0,01	0,03	0,27	0,39
4	15	11	1,00	0,79	0,68	0,07	0,09	0,37	0,49	0,62
5	15	10	1,00	0,71	0,56	-0,10	0,07	0,15	0,29	0,35
6	12	0	1,00	0,80	0,82	0,83	0,93	0,95	0,93	0,94
7	12	8	1,00	0,70	0,53	0,46	0,34	0,37	0,41	0,35
8	8	4	1,00	0,84	0,60	-0,28	0,12	0,13	0,29	0,43
9	6	3	1,00	0,98	0,99	0,96	0,99	0,99	0,99	0,98
10	6	2	1,00	0,73	0,92	0,75	0,97	0,97	0,97	0,95
ø			1,00	0,78	0,70	0,29	0,40	0,48	0,58	0,62
∑	131									

Tab. 1: Korrelationsmatrix PMD zu Ertragserfassung GMD und REIP-Werten in verschiedenen EC-Stadien

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Mit dieser Arbeit können abschließend mehrere Feststellungen getroffen werden. Zunächst konnte die Genauigkeit der Ertragserfassung über einen Parzellenmähdrescher mit 1,5 m Arbeitsbreite zur Schätzung der Erntemenge eines Großmähdreschers über eine Arbeitsbreite von 12,2 m überprüft werden. Dabei stellte sich heraus, dass die Korrelationen der Ertragswerte des PMDs zum GMD sowohl im direkten Vergleich (PMD-Spur liegt innerhalb der GMD-Spur), als auch innerhalb einer definierten Rasterzelle mit im Mittel 0,78 bzw. 0,70 relativ hoch waren. Dennoch konnten durch eine exakte Rückwiegung auf einer Fuhrwerkwaage Abweichungen festgestellt werden, welche beim GMD im Mittel

etwas höher ausfielen als beim PMD. Insbesondere bei der Aufzeichnung des GMDs machte sich ein Trend zu einer Unterschätzung des Ertrags in Hochertragszonen und einer Überschätzung in Niedrigertragszonen bemerkbar. Die Beziehung der gesamten Datenmenge von Ertragswerten des PMDs zum GMD ergab lediglich eine lineare Korrelation von 0,57 bzw. eine Konkordanz Korrelation von 0,54, was in Summe die Eignung eines PMDs zur Überprüfung der Erntemenge eines Großmähdreschers mit 12,2 m Arbeitsbreite nicht bekräftigt. Eine sehr kleinräumige Ertragsheterogenität ist als mögliche Ursache für diesen Umstand zu nennen, wie aus der höheren Standardabweichung der Daten des PMDs (0,59 vs. 0,44) zu erkennen war. Möglicherweise hätten die Effekte der kleinräumigen Heterogenität durch die Wahl eines GMDs mit geringerer Schnittbreite geringere Auswirkungen in den Abweichungen bewirkt. Die Auswertung der Beziehungen zwischen REIP-Index und Ertragsdaten der Mähdrescher zeigt ein stark geteiltes Spektrum. Teilweise waren äußerst hohe Korrelationen von bis zu 0,99 in EC 65 zu beobachten, andere Versuchsstreifen wiederum fielen bis auf eine Korrelation von 0,27 ab. Zudem zeigte sich im Mittel ein leicht erhöhter Zusammenhang in EC 75 (0,62 vs. 0,58). Dies ist unter anderem mit einer deutlich fortgeschrittenen Abreife in diesem Stadium zu erklären. Aufgrund der Anlage als On-Farm-Versuch sowie der begrenzten Anzahl an störungsfreien Streifen für den GMD konnte nicht in allen Streifen, welche mit dem PMD geerntet wurden, auch der Erfassungsbereich des Yara-N-Sensors getroffen werden. Yara-N-Sensor-Streifen mit geringerem Abstand zu den Parzellenmähdrescherstreifen wiesen in der Regel höhere Korrelationswerte auf (Streifen 2, 6, 10). Möglicherweise war demnach die Heterogenität zu kleinräumig. Für die exakte Aufklärung des Zusammenhangs zwischen REIP-Index und der Ertragsdaten des PMDs sollte künftig ein Exaktdrusch nur in den unmittelbaren Erfassungsbereichen des Yara N-Sensors angestellt werden.

Summa summarum kann die Ertragsaufzeichnung des modernen Großmähdreschers (Claas Lexion 780), entgegen den Erfahrungen aus der Vergangenheit, als durchaus zufriedenstellend betrachtet werden. Eine Ertragsschätzung aus Vegetationsindices wie dem REIP-Index sollte dennoch verfolgt werden, zumal die benötigte Sensorik auf modernen Agrarbetrieben ohnehin eingesetzt wird und sich in Zukunft möglicherweise genauere Ertragsprognosen ergeben könnten. Zu überprüfen bleibt, ob weitere Vegetationsindices bzw. Messverfahren eine stabilere Datenlage erzeugen. Der nächste Schritt wäre die Darstellung der Heterogenität von Beständen auf Ertragskarten, welche in dieser Arbeit explizit nicht verfolgt wurde.

Literaturverzeichnis

[LM05] Liebler, J.; Maidl F.-X.: Berührungslose Erfassung von Biomassebildung und N-Status in Pflanzen. Vortrag zum IKB Abschluss-Symposium Weihenstephan, 11. - 12. 10. 2005 http://ikb.weihenstephan.de/ikb2/deutsch/symposium/pdf/maidl2.pdf, Stand 30.10.2019.

[MA19] Maidl F.-X.; Spicker A.; Wenig A. und Hülsbergen K.-J.: Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten. In (A. Meyer-Aurich et al. Hrsg.): Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2019, S. 131-134, 2019.

Herausforderungen für eine vereinfachte digitale Dokumentation und Optimierung von Nährstoffkreisläufen am Beispiel eines Milchviehbetriebs

Jens Henningsen[1] und Christof Schroth[1]

Abstract: In dem Beitrag wird dargestellt, dass landwirtschaftliche Betriebe sich in Zukunft verstärkt mit Nährstoffkreisläufen auseinandersetzen müssen. Zudem sind im Green Deal der EU der reduzierte Einsatz von Düngemitteln und die Verringerung von Nährstoffverlusten fest verankert. In diesem Zusammenhang spielt eine automatische Dokumentation der Nährstoffflüsse eine wichtige Rolle, um darauf aufbauend mögliche Optimierungspotenziale ableiten und berechnen zu können. Allerdings gibt es in diesem Bereich noch diverse technische Herausforderungen, die in diesem Artikel anhand eines Milchviehbetriebs dargestellt werden.

Keywords: Nährstoffkreisläufe, automatisierte Dokumentation, Optimierung, Datenqualität

1 Einleitung

Die Landwirtschaft steht aktuell vor vielen Herausforderungen. Zum einen soll eine nationale Umstrukturierung der Tierhaltung erfolgen, zum anderen sollen auf europäischer Ebene in der aktuellen Farm2Fork-Strategie im Rahmen des Green Deals der EU der Düngemitteleinsatz um 20 % und die Nährstoffverluste um 50 % reduziert werden [Bu 20; Eu20]. Diese ökologischen und politischen Entwicklungen regen viele landwirtschaftliche Betriebsleiter und Betriebsleiterinnen[2] zum Überdenken der aktuellen Arbeitsprozesse an. Digitalisierung kann helfen, den Nährstoffkreislauf eines landwirtschaftlichen Betriebs detaillierter abzubilden und zu analysieren. Allerdings sind Landwirte eher gehemmt, in Digitalisierung zu investieren, was laut [Ga17] unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass Entscheidungsalgorithmen fehlen, Inkompatibilitäten vorherrschen und Aspekte wie Datenhoheit und Datenschutz an Wichtigkeit zunehmen. Dennoch nutzen landwirtschaftliche Betriebe vermehrt digitale Hilfsmittel, darunter Farm-Management-Informationssysteme (FMIS) [RKR20], bei denen die Qualität der erfassten Daten eine wichtige Rolle spielt [Wo17]. FMIS dienen zum Beispiel dazu, Dokumentationsaufgaben und -pflichten effizienter zu gestalten, d.h. landwirtschaftliche Betriebe zu entlasten.

[1] Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE, Abteilung Data Science, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern, jens.henningsen@iese.fraunhofer.de, christof.schroth@iese.fraunhofer.de

[2] In der folgenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen beiderlei Geschlechts.

An diesem Punkt setzt das Fraunhofer-Leitprojekt „Cognitive Agriculture (COGNAC)[3]“ an. Dort werden Konzepte entwickelt, um relevante Daten eines landwirtschaftlichen Betriebs zentral (beispielweise in Form von Digitalen Zwillingen) in einem „Agricultural Data Space (ADS)[4]“ zu speichern. In einem Arbeitspaket wird unter anderem sowohl die automatisierte Dokumentation als auch die Optimierung von Nährstoffkreisläufen thematisiert. Um einerseits ökologisch (z. B. Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Erhaltung der Erntequalitäten) und andererseits ökonomisch arbeiten zu können, ist eine vereinfachte, möglichst automatische Dokumentation sowie verbesserte Entscheidungsunterstützung im Nährstoffmanagement notwendig. Entlang des Nährstoffkreislaufs treten an verschiedenen Stellen (z. B. Futterbergung, Milchviehfütterung) Nährstoffverluste auf und tragen zu einer verschlechterten Luft- und Wasserqualität bei [PR15]. Im Zentrum dieses Beitrags wird zunächst die Qualität automatisch erfasster Daten im Rahmen des Nährstoffkreislaufs betrachtet, da dies eine Basis für weitere Anwendungsbereiche ist.

2 Material und Methoden

2.1 Vorgehen

Im Rahmen unserer Arbeiten wurde mithilfe von Experteninterviews der Fokus auf einen landwirtschaftlichen Milchviehbetrieb gelegt. Anschließend wurde in Kooperation mit einem Milchviehbetrieb zunächst der gesamte Nährstoffkreislauf betrachtet und der aktuelle Stand der Technik des Betriebs untersucht. Es wurde ermittelt, welche Daten schon digital bzw. noch analog erfasst und abgelegt werden. Ganzheitlich betrachtet liegen zwischen unterschiedlichen Systemen oft Medienbrüche vor, was eine Dokumentation und spätere Auswertung der Daten für landwirtschaftliche Betriebsleiter erschwert. Ein weiterer erschwerender Faktor ist, dass an verschiedenen Stellen Richtwerte bzw. Modelle (z. B. für Bröckelverluste, Lagerverluste) zur Berechnung von Nährstoffflüssen verwendet werden. Allgemein ist im Bereich der Futterbergung von landwirtschaftlichen Betrieben oftmals nicht der genaue Ernteertrag (z. B. von Grünland) bekannt, wobei eine genaue Erfassung das Potenzial birgt, Nährstoffe nachhaltiger und effizienter einzusetzen [Ko14]. Im Rahmen des Projekts und in Zusammenarbeit mit dem oben erwähnten Milchviehbetrieb wurden im Futterbau die erfassten Ertragsmengen (bzw. ausgebrachten Düngemengen) inklusive Inhaltsstoffe mithilfe eines NIR-Sensors erfasst. Des Weiteren können anhand der vorliegenden Betriebsdaten Nährstoffausträge über Milch, Kot und Harn berechnet werden. Somit können zum Beispiel mithilfe der Daten angepasste Futterrationen für eine Milchviehherde erstellt werden, die zu verminderten N-

[3] Fraunhofer-Leitprojekt »Cognitive Agriculture (COGNAC)« https://www.fraunhofer.de/de/forschung/fraunhofer-initiativen/fraunhofer-leitprojekte/cognac.html

[4] Whitepaper »ADS« https://www.iese.fraunhofer.de/content/dam/iese/de/dokumente/innovationsthemen/COGNAC_Whitepaper_ADS2019.pdf

Ausscheidungen führen. Die mittels Maschinensensoren erfassten Daten wurden über die Plattform eines Landtechnikherstellers bezogen und bewertet. Im Folgenden liegt der Fokus auf der Qualität dieser vorliegenden Daten im Bereich der Futterbergung.

2.2 Datenqualitätsberechnungen Futterbau

Zunächst wurde eine Sichtung von Ernte- bzw. Düngungsanwendungen durchgeführt. In Absprache mit Experten wurden drei repräsentative Felder ausgewählt, bei denen alle Ernte- und Düngeanwendungen für das Jahr 2020 vollständig im Shape-Format vorliegen. Bei näherer Betrachtung der ausgewählten Dateien wurde festgestellt, dass die enthaltenen Informationen und Daten zum Teil in geringer Datenqualität vorliegen. Es wurden unter anderem folgende Schwachpunkte festgestellt, welche auch beispielhaft in Abb. 1 dargestellt sind:

- Es fehlen Datenpunkte, sodass die Anwendung nicht komplett erfasst wurde.
- Es befinden sich Datenpunkte in den Dateien, die zum Teil außerhalb der Feldgrenzen erfasst wurden.
- Messwerte sind nicht plausibel (z. B. vertauschte Einheiten in den Metadaten).
- Es sind zwei Anwendungen für ein Feld in einer Datei hinterlegt (z. B. mehrere Grasschnitte in einem Jahr) – dies ist ein indirekter Fehler, denn für genaue Berechnungen sind die einzelnen Anwendungen zu trennen (fehlt in der Darstellung).

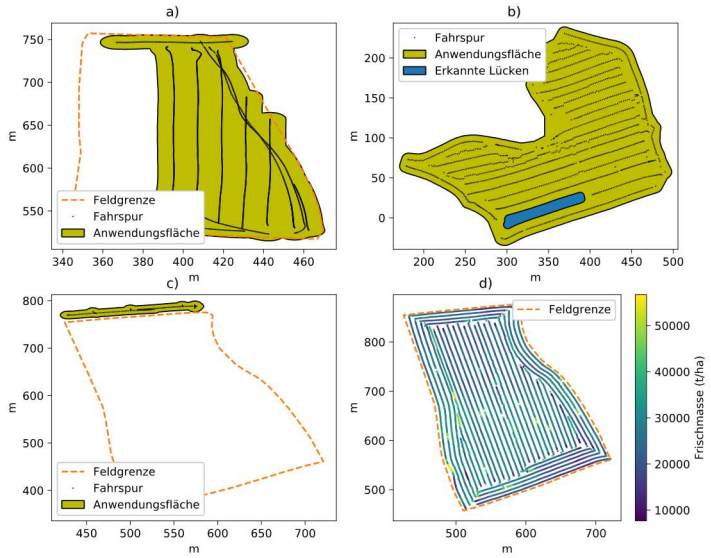


Abb. 1: a) Nur auf einer Teilfläche wurde Mist ausgebracht, bis er aufgebraucht war; b) ein Teil des Feldes wurde bei der Anwendung nicht erfasst (dunkelblauer Bereich), vermutlich ein Fehler während der Aufzeichnung; c) Anwendung auf einem angrenzenden Feld (d.h. außerhalb des entsprechenden Felds); d) unplausible Messwerte, eventuell wurden kg und t vertauscht

Anhand der skizzierten Schwachpunkte wird ersichtlich, dass es sich entweder um Anwenderfehler oder um technische Fehler handelt.

Im Allgemeinen ist die Datenqualität beispielsweise mitverantwortlich für die Performanz von Betriebsprozessen und Entscheidungsunterstützungssystemen [Ba09]. Weiterhin erschwert die zunehmende Vielfalt an verknüpften Daten (Linked Data) zusätzlich die Bestimmung der Datenqualität und letztendlich eine transparente Darstellung für den Endkonsumenten [De16]. Für die vorliegenden Daten wurde ein Ansatz zur Berechnung der Datenqualität angenommen. Tab. 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Charakteristiken und Metriken, welche im Folgenden erklärt werden.

Fragestellung [entsprechende Charakteristik ISO 25012:2008]	**Verwendete Metrik**
Wie viele Werte fehlen in den Messungen? [Completeness]	$\frac{A}{B}$, wobei A: Anzahl Datenpunkte ≠ Nan und B: Anzahl Datenpunkte
Wie viele der aufgezeichneten Messpunkte befinden sich innerhalb der Feldgrenzen? [Accuracy (1)]	$\frac{A}{B}$, wobei A: Anzahl Datenpunkte innerhalb der Feldgrenzen und B: Anzahl Datenpunkte
Wie groß ist der Bereich innerhalb des Feldes, für den Aufzeichnungen vorliegen? [Accuracy (2)]	$\frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{B}}$, wobei $\boldsymbol{A}$: Fläche innerhalb des Feldes, für die Datenpunkte vorliegen und $\boldsymbol{B}$: Fläche des Feldes
Befindet sich mehr als ein Feld in der Datei? [Consistency (1)]	$\begin{cases} 0\%, \text{ falls } \geq 2 \text{ Felder detektiert} \\ 100\%, \text{ falls nur 1 Feld detektiert} \end{cases}$
Befindet sich mehr als eine Anwendung in der Datei? [Consistency (2)]	$\begin{cases} 0\%, \text{ falls } \geq 2 \text{ Anwendungen detektiert} \\ 100\%, \text{ falls nur 1 Anwendung detektiert} \end{cases}$
Erntedaten: Liegt die Frischmasse in einem plausiblen Bereich? *Düngungsdaten*: Liegt die ausgebrachte Menge in einem plausiblen Bereich? [Credibility]	$\frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{B}}$, wobei $\boldsymbol{A}$: Anzahl Datenpunkte innerhalb des plausiblen Bereichs und $\boldsymbol{B}$: Anzahl Datenpunkte

Tab. 1: Anhand der Charakteristiken der 25012:2008 Norm wurden für folgende sechs Fragestellungen Metriken definiert. Alle Metriken sind normiert, d.h. sie nehmen Werte zwischen 0 % (nicht erfüllt) und 100 % (ganz erfüllt) an

Die ISO 25012:2008 Norm definiert für die Datenqualität 15 Charakteristiken [IS08]. Welche dieser Charakteristiken relevant sind und wie man sie konkret berechnen kann, hängt grundsätzlich von der Anwendung ab. Da manche Charakteristiken sehr ähnlich

sind, ist es ferner möglich, zwei Charakteristiken zusammenzulegen und in einer Rechnung abzuhandeln. Man kann aber auch für eine Charakteristik zwei Berechnungen definieren. Aufgrund von Expertenwissen und der Analyseansätze zur Untersuchung der Daten eines landwirtschaftlichen Betriebs wurde anhand von vier der 15 Charakteristiken aus der ISO 25012:2008 Norm eine Datenqualitätsanalyse durchgeführt.

Es wurde ein Tool entwickelt, um die oben genannten Metriken der Datenqualität zu berechnen. Mit diesem Tool wurden drei Felder für den Beispielbetrieb ausgewertet.

3 Ergebnis

Insgesamt wurden 71 Dateien aus den Jahren 2019 und 2020 auf Datenqualität überprüft, darunter 45 Düngungs-, 16 Ernte- und 10 Aussaatdateien. Zunächst ist positiv zu erwähnen, dass alle Dateien immer eine einzelne Anwendung enthalten, d.h. Consistency (2) liegt zu 100 % vor. Außerdem sind die Daten kaum korrupt, denn der schlechteste Wert für Completeness beträgt 94 %. In Anbetracht der Tatsache, dass längst nicht alle erfassten Werte der Sensoren für die Auswertung relevant sind, ist dies ebenfalls positiv zu bewerten. In 42 % der Fälle wurden Anwendungen erkannt, die nicht das ganze Feld abdecken (Accuracy (1)). In ca. 7 % der Fälle wurden Anwendungen erkannt, die über die Feldgrenzen hinausgehen (Accuracy (2)). In 6 % der Fälle wurden bei der Datenqualitätskontrolle Vorgänge entdeckt, die ausschließlich außerhalb des Feldes aufgezeichnet wurden (Consistency (1)). Da die Dateien einige Probeläufe beinhalten, sind die letzten drei Prozentwerte nicht allzu kritisch zu bewerten. Die schlechtesten Werte wurden für Credibility beobachtet, denn 29 % der Dateien lieferten Werte außerhalb des plausiblen Bereichs. Vermutlich wurden in den Metadaten Tonnen und Kilogramm verwechselt (vgl. Abb. 1 d). Solche Dateien sind für eine Auswertung unbrauchbar. Dies ist für eine automatisierte Dokumentation kritisch, da man sich auf die Messwerte und vor allem die hinterlegten Messeinheiten verlassen muss. Hier bedarf es noch einer Nachbesserung. Insgesamt lässt sich aber sagen, dass die Metriken für die Bewertung der Datenqualität von Ernte- bzw. Düngungsdateien herangezogen werden können, denn die berechneten Metriken beschreiben die Qualität der vorliegenden Daten relativ genau.

4 Ausblick

Die oben beschriebenen Qualitätsdefizite können den Nutzen von Datenanalysen stark beeinflussen. Damit stellt die Datenqualität eine wichtige Grundlage und einen wesentlichen Erfolgsfaktor für die Digitalisierung in der Landwirtschaft dar. Landwirten muss es ermöglicht werden, die Daten während und nach der Anwendung einfach korrigieren zu können. Ferner ist noch zu überlegen, inwiefern man nicht perfekte Daten noch für eine Analyse verwenden könnte. Zum Beispiel könnten fehlende Werte interpoliert werden oder es könnten Durchschnitts- bzw. Erfahrungswerte verwendet werden. Sind die oben genannten Maßnahmen umgesetzt, können die Daten für

Optimierungskonzepte des Nährstoffkreislaufes genutzt werden. Idealerweise wird die Datenqualitätskontrolle direkt nach der Aufzeichnung der Daten automatisiert ausgeführt, damit die Landwirte unmittelbar eine Rückmeldung erhalten. Denkbar wäre es auch, dass dies ein Plattform-Dienst auf der Datenplattform oder ein Dienst im „digitalen Zwilling" übernimmt und der Qualitätsbericht im Agricultural Data Space (ADS) hinterlegt wird. Dies zu adressieren ist für den weiteren Projektverlauf geplant.

Literaturverzeichnis

[Ba09] Batini, Carlo; Cappiello, Cinzia; Francalanci, Chiara; Maurino, Andrea (2009): Methodologies for data quality assessment and improvement. In *ACM Comput. Surv.* 41 (3), S. 1–52.

[Bu20] Pressemitteilung Nr. 155 vom 16.09.2020: Umbau der Tierhaltung beginnt jetzt; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).

[De16] Debattista, Jeremy; Auer, Soeren; Lange, Christoph (2016): Luzzu – A Methodology and Framework for Linked Data Quality Assessment. In *J. Data and Information Quality* 8 (1), S. 1–32.

[Eu20] European Commission (2020): From Farm to Fork – Our food, our health, our planet, our future. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/actions-being-taken-eu/farm-fork_en, zuletzt geprüft am 29.10.2020.

[Ga17] Gandorfer, Markus; Schleicher, Sebastian; Heuser, Sebastian; Pfeiffer, Johanna; Demmel, Markus (2017): Landwirtschaft 4.0 - Digitalisierung und ihre Herausforderungen. In Ackerbau - technische Lösungen für die Zukunft, S. 9-19.

[IS08] ISO/IEC 25012:2008: Software engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Data quality model. Online verfügbar unter: https://www.iso.org/standard/35736.html, zuletzt geprüft am 28.10.2020.

[Kö14] Köhler, B.; Südekamp, K.-H.; Spiekers, H.; Taube, F. (2014): Quantitative Erfassung von Masse- und Stoffströmen im Futterbaubetrieb, in Kongressband 2014 Hohenheim S.411–415.

[PR15] Powell, J. M.; Rotz, C. A. (2015): Measures of nitrogen use efficiency and nitrogen loss from dairy production systems. In *Journal of environmental quality* 44 (2), S. 336–344.

[RKR20] Rohleder, Bernhard; Krüsken, Bernhard; Reinhardt, Horst (2020): Digitalisierung in der Landwirtschaft 2020. Online verfügbar unter: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-04/200427_prasentationpklw_final.pdf, zuletzt geprüft am 28.10.2020.

[Wo17] Wolfert, Sjaak; Ge, Lan; Verdouw, Cor; Bogaardt, Marc-Jeroen (2017): Big Data in Smart Farming – A review. In *Agricultural Systems* 153, S. 69–80.

Digitalisierung in der Landwirtschaft – Resilienz der Entwicklung aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive

Saskia Hohagen[1], Uta Wilkens[1] und Lukas Zaghow[1]

Abstract: Die Zukunftsfähigkeit der Landwirtschaft hängt nicht zuletzt von ihrer Resilienz ab. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse aus Experteninterviews vorgestellt und im Kontext von Resilienzmerkmalen diskutiert. Es wurden im Zeitraum von Februar bis März 2020 15 Experteninterviews mit Vertretern unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bereiche durchgeführt. In Summe zeigt sich, dass die individuelle Adaptionsfähigkeit ausgeprägter zu sein scheint als die organisationale Adaptionsfähigkeit. Aus den Ergebnissen werden praktische Implikationen abgeleitet.

Keywords: Digitalisierung, Resilienz, Landwirtschaft, Expertenbefragung, Arbeitswissenschaft

1 Einleitung

Die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft schlägt sich auch in der Landwirtschaft nieder. Dabei bringt der Einsatz digitaler Technologien sowohl Herausforderungen als auch Chancen mit sich [Lu17]. Eine arbeitswissenschaftliche Perspektive fragt danach, wie sich Arbeitsprozesse durch Technologieeinsatz verändern und durch welche Weichenstellungen Menschen in ihrem Arbeitshandeln durch Technologien optimal unterstützt und Chancen der Digitalisierung genutzt werden können. Nicht zuletzt bemisst sich angesichts der Covid-19-Pandemie die Zukunftsfähigkeit an der Resilienz, da die Landwirtschaft Teil der kritischen Infrastruktur ist [RSE19], der durch Digitalisierung eingeschlagenen Entwicklung. Die Anpassungsfähigkeit wird unter anderem als ein Schlüsselfaktor angesehen, um die Fähigkeit, auf unvorhergesehene Ereignisse oder Veränderungen in landwirtschaftlichen Betrieben reagieren zu können, zu steigern [UTH16]. Um die Resilienz in diesem Kontext bewerten zu können, wird das Zusammenspiel aus Technologieentwicklung, organisationalen und institutionellen Rahmenbedingungen sowie menschlichem Arbeitshandeln (dazu [Or92]) untersucht. Dafür wurde im BMEL-geförderten Projekt Experimentierfeld Agro-Nordwest Anfang 2020 eine Expertenbefragung durchgeführt, an der 15 Vertreter aus landwirtschaftlichen Betrieben, Forschung, Kammern, Verbänden, Finanzwesen sowie Agrardienstleistung teilnahmen. Die Datenerhebung basierte auf einem teilstrukturierten Interview und die Datenauswertung erfolgte mittels einer strukturierten Inhaltsanalyse. Die Ergebnisse werden diskutiert und Implikationen abgeleitet.

[1] Ruhr-Universität Bochum, Institut für Arbeitswissenschaft, Lehrstuhl Arbeit, Personal und Führung, Universitätsstraße 150, 44780 Bochum, saskia.hohagen@rub.de, uta.wilkens@rub.de, lukas.zaghow@rub.de

2 Theorie

Resilienz meint die Fähigkeit, bei auftretenden Veränderungen oder Herausforderungen trotzdem handlungsfähig zu sein und sich neu zu organisieren [Wa02]. Neben der Digitalisierung stehen landwirtschaftliche Betriebe aktuell noch anderen wirtschaftlichen, ökologischen aber auch gesellschaftlichen Ereignissen gegenüber, wie beispielsweise Marktunsicherheiten oder der Globalisierung [Me19; Da14]. Da diese zunehmend gleichzeitiger auf die landwirtschaftlichen Betriebe einwirken, nimmt die Bedeutung der Resilienz in der Landwirtschaft zu (u. a. [Da14]). Strauss und Darnhofer [SD15] zeigen auf, dass sich Landwirte bereits darüber bewusst sind, auf die auftretenden Veränderungen und unvorhergesehenen Ereignisse reagieren zu müssen, um handlungsfähig zu bleiben. Zu einer resilienten Landwirtschaft trägt besonders das informelle Wissen von Landwirten bei [Šū18]. Die Resilienz landwirtschaftlicher Betriebe stützt sich eher auf die Anpassung von Ressourcen, Kreativität oder kognitive Agilität und weniger auf strukturelle Faktoren. Durch die Covid-19-Pandemie kann eine Weichenstellung für die Zukunft der Landwirtschaft vorgenommen werden [Da20]. Carpenter et al. [Ca01, S. 766] definierten im Kontext des sozial-ökologischen Systems drei Eigenschaften von resilienten Systemen: "(a) the amount of change the system can undergo […]; (b) the degree to which the system is capable of self-organization […]; and (c) the degree to which the system can build the capacity to learn and adapt". Unter anderem gestalteten Milestad und Darnhofer [MD03] diese drei Fähigkeitskomponenten im Kontext der Landwirtschaft aus. Die erste Fähigkeit zielt darauf ab, die Auswirkungen von eingetroffenen Ereignissen im landwirtschaftlichen Betrieb puffern zu können, beispielsweise durch eine angepasste Verwendung von Ressourcen. Es werden allerdings keine großen Veränderungen im Betrieb vorgenommen. Die zweite Fähigkeit adressiert die Selbstorganisation. Darunter wird eine Fähigkeit verstanden, ein Netzwerk aufzubauen, aber auch die Identifizierung von Problemen oder die Kombination von Wissen. Im Zentrum steht die Anpassung, die geprägt ist durch Pfadabhängigkeiten. Es entsteht nichts Neues, sondern das Bestehende wird erweitert. Die dritte Fähigkeit setzt auf der individuellen Ebene des Landwirts an und zielt auf die Anpassungsfähigkeit und das Lernen des Individuums ab [MD03; Da14].

3 Methodischer Hintergrund

Die Untersuchung basiert auf einem qualitativen Forschungsdesign. Im Rahmen des BMEL-geförderten Projektes Experimentierfeld Agro-Nordwest wurden Experteninterviews mittels eines teilstrukturierten Interviewleitfadens durchgeführt. Ziel der Befragung war es, aktuelle Strömungen in der Landwirtschaft zu erheben. Zu diesem Zweck wurden Akteure aus unterschiedlichen Teilbereichen der Landwirtschaft befragt. Der entwickelte Interviewleitfaden setzte die Veränderungen in der Landwirtschaft in den Fokus und richtete den Blick auf aktuelle Herausforderungen und Potenziale in der Landwirtschaft, fragte nach Einführungsparameter digitaler Technologien in Betrieben sowie veränderten Arbeitsweisen. Darüber hinaus beinhaltete die Datenerhebung eine Bildlegetechnik, die den

Fokus auf die Veränderung in den Wertschöpfungsnetzwerken der Landwirtschaft richtete. Insgesamt war der Interviewleitfaden auf 90 Minuten angelegt. Vor dem Einsatz des Interviewleitfadens wurden zwei Pretests im Januar 2020 durchgeführt. Die Experteninterviews wurden im Zeitraum von Februar bis März 2020, vor der Covid-19-Pandemie, durchgeführt. Insgesamt haben an der Befragung 15 Vertreter aus den Bereichen Forschung, Agrardienstleistung, Finanzwesen, Kammern, Verbände und landwirtschaftliche Betriebe aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands teilgenommen. Mittels einer strukturierten Inhaltsanalyse wurden die Interviews ausgewertet.

4 Ergebnisse und Diskussion

Im Ergebnis der Untersuchung zeigte sich, dass das „Technologiepotenzial" im Sinne einer nachhaltigeren und resilienteren Landwirtschaft gesehen wird. Dahingehende Geschäftsmodelle und Ansätze zur Marktbearbeitung sind jedoch noch nicht ausgebildet. Die „organisationale Adaptionsfähigkeit" bleibt angesichts sehr langer Erneuerungszyklen eher verhalten, während die „individuelle Adaptionsfähigkeit" durch Kompetenzentwicklung vergleichsweise ausgeprägt erscheint. Im Rahmen der Analyse kristallisieren sich diese drei Kategorien heraus, die auch im Einklang mit den drei Fähigkeitskomponenten von Resilienz nach Carpenter et al. [Ca01] stehen. Im Folgenden werden die Ergebnisse anhand der drei Kategorien detaillierter herausgearbeitet.

4.1 Kategorie: Technologiepotenzial für resiliente Landwirtschaft

In der Kategorie „Technologiepotenzial für resiliente Landwirtschaft" liegt der Fokus auf der „Puffer-Kategorie" von Carpenter et al. [Ca01]. Im Ergebnis der Experteninterviews zeigten sich verschiedene Entwicklungsdynamiken, wie beispielsweise das sinkende Verständnis für landwirtschaftliche Wertschöpfung und Arbeitsweisen, als auch die Diskrepanz zwischen öffentlichem Bild der Branche in den Medien gegenüber der Realität. Dies bezieht sich nicht nur auf die Stadt-, sondern auch zunehmend mehr auf die Landbevölkerung. Dies stellen auch Petersen, Kruse und Hess [PKH18] heraus. Diese Entwicklungsdynamiken müssen zuerst erkannt werden, um sie durch konkrete Maßnahmen abzupuffern. Das Technologiepotenzial zeigt sich konkret in der Möglichkeit einer nachhaltigeren Landwirtschaft durch den Einsatz digitaler Technologien. Precision Farming ermöglicht u. a. eine teilflächenspezifische Düngung, wodurch Betriebsmittel präziser und damit sparsamer eingesetzt werden. Landwirte können dadurch ein Feld in heterogene Einheiten unterteilen und dementsprechend bewirtschaften [Fi19]. Potenziale der Feldrobotik werden zwar gesehen, aber oft nicht als Option für das tägliche Arbeitshandeln in Betracht gezogen. Über die Nutzung digitaler Kanäle kann, als Puffer-Maßnahme, die gesellschaftliche Akzeptanz bzw. die Wertschätzung der Gesellschaft zurückgewonnen werden. In der Digitalisierung sehen die Experten das Potenzial, über Transparenz, aber auch Rückverfolgbarkeit und Partizipation, Teilhabe zu fördern und das Vertrauen der Gesellschaft aus-

zubauen. Das Berufsbild des Landwirts erscheint der breiten Masse als zunehmend unattraktiv. Als Puffer-Maßnahme können hierbei digitale Technologien eingesetzt werden. Durch den Einsatz digitaler Technologien verändern sich Arbeitsfelder, der Stand des Berufsbilds und auch die Arbeitgeberattraktivität kann gesteigert werden.

4.2 Kategorie: Organisationale Adaptionsfähigkeit

Hier geht es um Fragen der Organisations- und Selbstorganisationsfähigkeit. Trotz Chancen durch die digitale Transformation für die Landwirtschaft zeigen sich bei der organisationalen Adaptionsfähigkeit vielfach Herausforderungen. In den Experteninterviews wird herausgestellt, dass (digitale) Technologien nicht als gleichermaßen zugänglich, noch gleichermaßen einsatzfähig bzw. praktikabel für alle Betriebsgrößen und -formen angesehen werden. Die Denkmuster und Entscheidungsfindungen sind geprägt von Pfadabhängigkeiten. Bei den Denkmustern zeigen sich jedoch auch Skaleneffekte. So werden beispielsweise in verschiedenen Kontexten bereits Daten digital gesammelt, jedoch fehlt es an Möglichkeiten, diese weiter zu verarbeiten und in handlungsleitende Entscheidungsparameter im Betriebsalltag umzusetzen. Landwirtschaftliche Betriebe stehen nicht mehr im regionalen, sondern durch (die digitalen) Technologien und andere Globalisierungstreiber im (inter-) nationalen Wettbewerb. Auf den internationalen Wettbewerb weist auch Lutz [Lu17] hin. Dies beeinflusst das Preisverhalten und die Konkurrenz, bietet zugleich Zugang zu neuen Absatzmärkten und Konsumverhalten, fördert aber auch Risiken wie gestiegene Marktvolatilität und schwindende Verhandlungsmacht des Einzelnen. Diese neue Wettbewerbsdynamik wird in landwirtschaftlichen Betrieben selten für die langfristige Ausrichtung des Betriebes in Betracht gezogen. Gleichzeitig werden strategische Entscheidungen im Hinblick auf betriebliche Neuorientierung meist erst mit dem Generationenwechsel vollzogen. Damit gehen lange Erneuerungszyklen einher. Vor Hofübernahmen kann es zu Investitionsstopps kommen – ein Anschluss aus dieser Statik heraus fällt oft schwer. Das Organisationspotenzial wird gesehen, aber die Selbstorganisationsfähigkeit stößt an ihre Grenzen. Die Erneuerung aus sich selbst heraus scheint schwierig zu sein.

4.3 Kategorie: Individuelle Adaptionsfähigkeit

Mit Blick auf die individuelle Adaptionsfähigkeit zeigen die Experteninterviews, dass sich Arbeitsprozesse im Einzelnen verändern. Die Arbeit im Büro nimmt unter anderem durch die Steigerung der Dokumentationspflichten zu. Im Sinne der Adaptionsfähigkeit nimmt mit der Digitalisierung der Bedarf an digitalen Kompetenzen bei den Landwirten zu. Diese sind zwar in Ansätzen gegeben, sollten aber weiter entwickelt werden, um handlungsfähig zu bleiben und auf eingetroffene Ereignisse reagieren zu können. Gleiches zeigt sich auch bei den kaufmännischen Fähigkeiten. Landwirte werden zu Betriebsleitern. Graskemper, Feil und Quiring [GFQ19] stellen heraus, dass im Kontext der Landwirtschaft auch auf die Begrifflichkeit „Entrepreneurship“ zurückgegriffen wird und an Relevanz gewinnt.

Dies setzt umfangreichere Fähigkeiten voraus, die ebenfalls erweitert werden müssen. In Summe zeigt sich, dass die individuelle Adaptionsfähigkeit höher ausgeprägt erscheint als die organisationale. Die Landwirtschaft ist sehr heterogen und erfährt den Wandel unterschiedlich. In Bezug auf den Wandel müssen Landwirte flexibel auf Veränderungen in ihren Betrieben reagieren. Es wird deutlich herausgestellt, dass besonders die kleineren und mittleren landwirtschaftlichen Betriebe weniger partizipieren und abgeholt werden müssen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch unvorhergesehene Ereignisse oder Veränderung, wie beispielsweise die Covid-19-Pandemie, nimmt die Bedeutung der Resilienz in der Landwirtschaft zu. Basierend auf der Systematisierung von Carpenter et al. [Ca01] zeigt sich in den durchgeführten Experteninterviews, dass Entwicklungsdynamiken in der Landwirtschaft gesehen werden. Darüber hinaus haben Landwirte eine hohe Adaptionsfähigkeit. Dem gegenüber stehen lange Erneuerungszyklen, die resiliente Handlungen behindern könnten. Um den Veränderungen durch die digitale Transformation begegnen zu können, braucht es Unterstützungsmöglichkeiten, damit landwirtschaftliche Betriebe an der Digitalisierung partizipieren. Die herausgestellten Potenziale digitaler Technologien müssen als valide Option für den eigenen Betrieb besser kommuniziert und kleinschrittig näher gebracht werden. Dabei bedarf es eines besonderen Fokus auf die kleineren und mittleren landwirtschaftlichen Betriebe. Erst dann können Pufferwirkungen entstehen. Es bedarf insbesondere einer bedarfsorientierten Entwicklung von Technologien für kleine und mittlere Betriebe, um digitale Technologien greifbar zu machen. Darüber hinaus braucht es eine Beratung und Dienstleistungserbringung im Zusammenhang mit neu anzuschaffenden Technologien.

Literaturverzeichnis

[Ca01] Carpenter, S.; Walker, B.; Anderies, J. M.; Abel, N.: From metaphor to measurement: resilience of what to what? Ecosystems 4, 765-781, 2001.

[Da14] Darnhofer, I.: Resilience and why it matters for farm management. European Review of Agricultural Economics 41, 461-484, 2014.

[Da20] Darnhofer, I.: Farm resilience in the face of the unexpected: lessons from the COVID-19 pandemic. Agriculture and Human Values 1, 2020.

[Fi19] Finger, R.; Swinton, S. M.; El Benni, N.; Walter, A.: Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. Annual Review of Resource Economics 11, 313-335, 2019.

[GFQ19] Graskemper, V.; Feil, J.-H.; Quiring, A.: Unternehmertum und Entrepreneurship in der Landwirtschaft – Eine empirische Untersuchung in Deutschland. Vortrag anlässlich der 59. Jahrestagung der GEWISOLA, Braunschweig, 2019.

[Lu17] Lutz, K. J.: Digitalisierung der Landwirtschaft: Revolution mit evolutionärem Charakter. In (Hildebrandt, A.; Landhäußer, W. Hrsg.): CSR und Digitalisierung. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S. 429-442, 2017.

[Me19] Meuwissen, M. P. et. al.: A framework to assess the resilience of farming systems. Agricultural Systems 176, 1-10, 2019.

[MD03] Milestad, R.; Darnhofer, I.: Building farm resilience: the prospects and challenges of organic farming. Journal of sustainable agriculture 22, 81-97, 2003.

[Or92] Orlikowski, W. J.: The duality of technology: Rethinking the concept of technology in organizations. Organization science 3, 398-427, 1992.

[PKH18] Petersen, J.; Kruse, G. V.; Hess, S.: Was beeinflusst das Image der Landwirtschaft im ländlichen Raum? Posterpräsentation anlässlich der 58. Jahrestagung der GEWISOLA, Kiel, 2018.

[RSE19] Reuter, C.; Schneider, W.; Eberz, D.: Resilient Smart Farming (RSF)–Nutzung digitaler Technologien in krisensicherer Infrastruktur. In (Ruckelshausen, A. et. al. Hrsg.): Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen-ein Widerspruch in sich? Referate der 39. GIL-Jahrestagung, Wien, S. 177-182, 2019.

[SD15] Strauss, A.; Darnhofer, I.: Leistet die biologische Landwirtschaft einen Beitrag zur Resilienz landwirtschaftlicher Familienbetriebe? In (Häring A. M.; Hörning, B.; Hoffmann-Bahns, R. Hrsg.): Am Mut hängt der Erfolg. Rückblicke und Ausblicke auf die ökologische Landbewirtschaftung. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Eberswalde u.a., S. 641-644, 2015.

[Šū18] Šūmane, S. et. al.: Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. Journal of Rural Studies 59, 232-241, 2018.

[UTH16] Urruty, N.; Tailliez-Lefebvre, D.; Huyghe, C.: Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. Agronomy for sustainable development 36, 1-15, 2016.

[Wa02] Walker, B. et.al.: Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. Conservation ecology 6, 1-18, 2002.

Schnelle Nährstoffanalyse von Gülle und Gärresten mittels diffuser Reflexions-Spektroskopie

Michael Horf[1], Robin Gebbers[1], Max-Frederik Piepel[2] und Hans-Werner Olfs[2]

Abstract: Zur Vermeidung von Umweltbelastungen (u. a. Nitrat im Grundwasser) müssen dem Landwirt entsprechend der Düngeverordnung zumindest Angaben zu den Gehalten an Stickstoff und Phosphor vorliegen. Eine chemische Analyse mit konventionellen Methoden wird aber von Landwirten aufgrund der damit verbundenen Kosten und dem zeitlichen Aufwand selten in Anspruch genommen. Eine Alternative könnte die in-situ-Messung der Nährstoffe mit einem optischen Spektrometer im visuellen und Nahinfrarotbereich (Vis-NIR) sein. Ziel dieser Untersuchung war es, das Optimierungspotenzial bei der Wahl des Versuchsaufbaus, der Spektrenvorverarbeitung, des Regressionsalgorithmus sowie des Spektralbereichs auszuloten, um sowohl Makro- als auch Mikronährstoffe in flüssigen Wirtschaftsdüngern präzise zu bestimmen. Die Untersuchung von 62 Gülle- und Gärrestproben zeigte, dass durch eine kombinierte Optimierung von Versuchsaufbau und numerischer Methoden sehr gute Schätzungen für die Nährstoffgehalte erzielbar sind. Für die Trockensubstanz und Makronährstoffe betrugen die Modellgütewerte 0,91 bis 0.94 R^2. Für viele Mikronährstoffe wurden Modellgütewerte von 0,70 bis 0.87 R^2 erreicht.

Keywords: optische Spektroskopie, Vis-NIR, Wirtschaftsdünger, Chemometrie, PLSR

1 Einleitung

Um den Anforderungen einer effizienten und nachhaltigen Düngerapplikation gerecht zu werden, müssen dem Landwirt auch die mittels organischer Düngemittel aufgebrachten Nährstoffe so genau wie möglich bekannt sein. Zum einen ist dabei eine ausreichende Pflanzenversorgung für optimalen Ertrag erstrebenswert, zum anderen müssen die Vorschriften der Düngeverordnung eingehalten werden, um so einen umweltbelastenden und gesundheitsgefährdenden Austrag von Nitrat und Phosphat in Oberflächengewässer, Grundwasser und Trinkwasser zu vermeiden. Ebenso wichtig ist die Kenntnis über die Nährstoffgehalte bei der Abgabe von überschüssigem Wirtschaftsdünger. Eine chemische Analyse mit konventionellen Labormethoden wird von Landwirten aufgrund der damit verbundenen Kosten und dem zeitlichen Aufwand selten in Anspruch genommen. Die alternative Verwendung von tabellierten Faustzahlen gibt die tatsächliche Variabilität der Nährstoffe jedoch nur unzureichend wieder, weil diese von zahlreichen Faktoren (u. a.

[1] Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB), Abteilung Technik im Pflanzenbau, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, mhorf@atb-potsdam.de, rgebbers@atb-potsdam.de
[2] Hochschule Osnabrück, Fachgebiet Pflanzenernährung und Pflanzenbau, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, m.piepel@hs-osnabrueck.de, h-w.olfs@hs-osnabrueck.de, https://orcid.org/0000-0001-6046-2803

Fütterungskonzepte, Stallhaltungsformen oder Gärungsverfahren in Biogasanlagen) beeinflusst werden [RV19].

Aus diesen Gründen ist die optische Spektroskopie als alternatives Messverfahren in den Fokus gerückt, da es sehr schnell und bei großen Probenzahlen auch kostengünstig arbeitet. Die spektroskopische Analyse von Stoffen im visuellen (Vis) und Nahinfrarotbereich (NIR) ist nicht neu. Im Agrarbereich werden per Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) routinemäßig u.a. Inhaltsstoffe von Ernteprodukten oder Futtermitteln im Labor bestimmt. Praxisreife Systeme zur Online-Analyse am Gülletankwagen kamen in den letzten Jahren vermehrt auf den Markt. Gemessen werden mit diesen integrierten NIR-Spektrometern die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium sowie die Trockenmasse als physikalischer Parameter in Schweine- und Rindergülle sowie in Gärresten [RV19]. Diese Online-Systeme sind jedoch an Gülletankwagen oder Güllepumpen gebunden und vergleichsweise teuer. Es stellt sich die Frage, ob Vis-NIR-Untersuchungen auch auf dem Betrieb im manuellen Verfahren möglich sind. Die vorliegende Studie untersucht daher Ansätze zur Analyse von flüssigen Wirtschaftsdüngern mit einfacheren Vis-NIR-Spektrometern, die auch durch den Landwirt durchgeführt werden können. Eine Herausforderung für die Reproduzierbarkeit der Messungen liegt dabei in der äußerst heterogenen Zusammensetzung von Gülle und Gärresten, einhergehend mit einer schnellen Segregation in eine flüssige und feste Phase, die sich in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften signifikant unterscheiden.

2 Material und Methoden

2.1 Proben

Als Probenmaterial wurden 62 Gülle- und Gärrestproben in Nordwest-Deutschland gesammelt. Das Probenset bestand aus 10 Gärrest-, 41 Schweingülle- und 11 Rindergülleproben. Das Probenmaterial wurde sehr intensiv homogenisiert und in Teilproben á 0,5 l tiefgefroren. Für den Landwirt sind in flüssigen Wirtschaftsdüngern neben den Hauptnährstoffen Stickstoff i. e. Gesamtstickstoff (N_{Gesamt}) und dem sofort pflanzenverfügbaren Ammonium (NH_4-N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Schwefel (S) und den Spurennährstoffen Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Mangan (Mn) und Bor (B) auch die Trockensubstanzgehalte (TS) und der pH-Wert von Interesse. Diese Parameter wurden mittels anerkannter nasschemischer Methoden im zertifizierten Labor der LUFA-Nord-West, Hameln, bestimmt und bezogen auf das Frischgewicht angegeben. Für die spektral-optische Analyse wurden die gefrorenen Teilproben über Nacht bei Raumtemperatur aufgetaut, anschließend mehrere Male vorsichtig geschüttelt, in kleine Gefäße aus dünnem Borosilikatglas mit planarem Boden gefüllt (Einwegvials 28 mm Reflektion, Deutsche METROHM GmbH & Co. KG, Filderstadt) und unmittelbar vor jeder Messung umgerührt.

2.2 Spektrometrie

Die spektralen Messungen wurden mit einem Ultra-Breitband UV-Vis-NIR Spektrometer (Arcspectro UV-VIS-NIR fibered, ArcOptix S.A., Neuchatel, Schweiz) durchgeführt. Das Spektrometer ist sowohl mit einem dispersiven Spektrometer für den UV- und Vis-Bereich von 200 bis 1000 nm ausgestattet als auch mit einem Fourier-Transformations-spektrometer (FT-NIR) für die NIR-Region von 900 bis 2500 nm. Die spektrale Auflösung beträgt dabei < 5 nm im Vis- und < 8 nm im NIR-Bereich mit einem interpolierten Ausgabeintervall von 1 nm. Für die Versuche wurde ein von Lichteinflüssen abschirmendes Gehäuse mit Beleuchtung und Probenhalterung konstruiert. Die Probe wurde im Inneren von zwei Halogenlampen bestrahlt und das diffuse, in einem Winkel von 45 Grad reflektierte Licht (ausgehend vom Boden der Glasgefäße) über zwei verschiedene Glasfaserkabel für den Vis- und NIR-Bereich in das Spektrometer geleitet. Das reflektierte Licht ist dabei das Resultat von substanzspezifischen, konzentrationsabhängigen und gleichzeitig wellenlängenabhängigen Interaktionen mit elektromagnetischer Strahlung. Jede Probe wurde 5-mal gemessen und dabei jeweils um etwa 70 Grad rotiert. Jedes erhaltene Spektrum ist der Durchschnitt von 50 internen Wiederholungen im Vis-Bereich mit einer Integrationszeit von 60 ms und 16 Wiederholungen im Nahinfrarotbereich. Um die Reflexionsspektren in Reflektanzspektren umwandeln zu können (s. Abschnitt 2.3), wurden alle 30 Minuten eine Messung an einem Reflexionsstandard sowie eine Dunkelstrommessung einmal am Tag durchgeführt.

2.3 Chemometrische Auswertungsmethoden

Zur Berechnung der Reflektanzspektren (R) wurde der Dunkelstrom (I_d) von den Rohspektren der Proben (I) und dem Reflexionsstandard (I_0) abgezogen sowie das Verhältnis der bereinigten Spektren mit den Reflexions-Referenzwerten des Standards für jede Wellenlänge (z_λ) multipliziert:

$$R\lambda = (I\text{-}Id)/(I0\text{-}Id)*z\lambda \quad (1)$$

Anschließend wurden mehrere Spektren-Vorbehandlungsmethoden durchgeführt, mit verschiedenen Regressionsmodellen kombiniert und überprüft, welches Verfahren die besten Ergebnisse liefert. Zu den verwendeten Vorbehandlungsmethoden gehörten die Pseudo-Absorbanz-Transformation (pA; Gleichung 2), die Kubelka-Munk-Transformation (KM; Gleichung 3), die Korrektur von Streueffekten mittels *Standard Normal Variate* (SNV) Transformation, die *Multiplicative Scatter Correction* (MSC) sowie der ersten und zweiten Ableitung mit Savitzky-Golay (SG1, SG2), die *Orthogonal Signal Correction* (OSC) [Wo98] und eine in diesem Kontext bislang nicht verwendete Methode, die mit normierten Differenzen (ND) von indexierten dualen Wellenlängen (DWI) rechnet (Gleichung 4) [SGK13]. Zudem wurden mehrere Vorbehandlungs-methoden kombiniert. Für Details zu SNV, MSC und die Savitzky-Golay-Ableitungen siehe [RBE09].

$$pA = \log(1/R) \quad (2)$$

$$KM = (1-R)^2/(2*R) \quad (3)$$

$$ND_{ij} = (R_i-R_j)/(R_i+R_j);\ i<j \quad (4)$$

Als Regressionsmethoden wurden fünf verschiedene Verfahren getestet [HTF09]: Partial Least Squares Regression (PLSR) mit einer 10-fachen Kreuzvalidierung und dem nichtlinearen, iterativen Partial Least Squares Algorithmus (NIPALS), Ridge Regression (RR), Least Absolute Shrinkage and Selection Operator Regression (LASSO), Least Angle Regression (LAR) und Random Forest (RF). Um der Frage nachzugehen, ob *low-cost*-Spektrometer mit kleineren Wellenlängenbereichen ähnliche Resultate erzielen können, wurden alle Wellenlängen mit großem Einfluss auf die Vorhersagequalität identifiziert. Bei PLSR wird die Relevanz der Variablen über die *Variable Importance Projection* (VIP) bestimmt, mit der für jede Wellenlänge ein VIP-Score berechnet wird [WJC93]. Bei RR, LASSO und LAR handelt es sich um sogenannte „Schrumpfungs-Schätzer", welche die Variablen während der Modellanpassung selektieren. Random Forest schätzt die Relevanz der Variablen über die Veränderung des Gini-Koeffizienten [Br84].

Vor Anwendung der Regressionsmethoden wurden alle vorbehandelten Spektren in ein zufälliges Kalibrierungs- und Validierungsset geteilt (Verhältnis 3:1). Zur Erstellung der Prognosemodelle wurden ausschließlich die Daten des Kalibrierungssets herangezogen. Anschließend wurden diese Modelle zur Vorhersage der Nährstoffkonzentrationen auf die Spektren des unabhängigen Validierungssets angewandt und mit den jeweiligen im Labor gemessen Konzentrationen verglichen. Als Gütemaß für die Qualität der Vorhersage-modelle wurden der Determinationskoeffizient (R^2) und die relative Standardabweichung (RSD = der *Root Mean Square Error of Prediction* (RMSEP) dividiert durch den Median der Messparameterwerte im Validierungsset) herangezogen. Sämtliche Berechnungen wurden mit der Software R durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Auffällig bei den 62 Reflektanzspektren sind die beiden starken Absorptionsbanden bei etwa 1450 und 1950 nm (Abbildung 1). Aufgrund der geringen Reflektanzen von fast 0 bis maximal 8 % im NIR von 1400-2500 nm sind für rauschfreie Spektren sowohl eine intensive Beleuchtung als auch ein sensitiver Detektor bzw. lange Integrationszeiten erforderlich. Die anhand dieser Spektren erhaltenen Determinationskoeffizienten der besten Vorhersagemodelle zeigen für die Trockensubstanz und die Makronährstoffe (N_{gesamt}, NH_4-N, P, K, Ca) gute bis sehr gute Modellgütewerte von 0,91 – 0,94 R^2 (Tab. 1). Abgesehen von der TS konnten diese hohen Werte allerdings nicht für alle Proben zusammen, sondern häufig nur für Spektren innerhalb einer Tierart (Schwein) ermittelt werden. Auch für die Mikronährstoffe (Mn, Fe, Cu, Zn) sowie Mg und S und den pH-

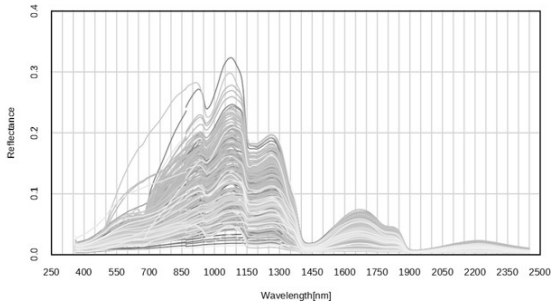


Abb. 1: 62 Reflektanz-Spektren von 62 flüssigen Wirtschaftsdüngerproben (41 Schweine- und 11 Rindergüllen sowie 10 Gärreste) im Bereich von 360 – 2450 nm

Wert wurden gute Gütewerte von 0,70-0,85 R^2 erzielt. Nur für B mit einem R^2 von 0,52 konnte keine exakte Konzentrationsbestimmung mittels Vis-NIR-Spektroskopie erreicht werden. Die RSD von meist 10-20 % liegt häufig im Schwankungsbereich der konventionellen Labormessungen und ist damit als gut zu bewerten. Als Regressionsmethode lieferte PLSR in den meisten Fällen die besten Ergebnisse und die

Variable	Proben-klasse	Vorbe-handlung	Regression	R^2	RSD	RMSEP [Einheit]
TS	alle	KM-MSC	PLSR	**0,92**	0,14	0,86 [%]
pH	alle	R-SG2	PLSR	**0,75**	-	0,20
N_{gesamt}	Schwein	KM	PLSR	**0,91**	0,13	0,057 [%]
NH_4-N	Schwein	KM	PLSR	**0,94**	0,09	0,026 [%]
P	Schwein	pA	PLSR	**0,91**	0,23	0,041 [% P_2O_5]
K	Schwein	KM	PLSR	**0,91**	0,13	0,045 [% K_2O]
Mg	Schwein und Rind	R-ND	PLSR	**0,85**	0,21	0,020 [% MgO]
Ca	Schwein	R	PLSR	0,93	0,17	0,030 [% CaO]
S	Schwein und Rind	pA-ND	PLSR	**0,79**	0,27	0,0081 [%]
Mn	alle	KM-SG2	PLSR	**0,70**	0,37	11,06 [mg/kg]
Fe	alle	KM	LAR	**0,87**	0,23	23,23 [mg/kg]
Cu	alle	pA	RF	**0,72**	0,49	3,50 [mg/kg]
Zn	alle	KM-OSC	PLSR	**0,83**	0,19	6,31 [mg/kg]
B	alle	R	LAR	**0,52**	0,52	1,13 [mg/kg]

Tab. 1: Messvariablen mit Methodenparametern der besten Vorhersagemodelle

Umrechnung der Reflektanzspektren in Kubelka-Munk-Reflektanz-Spektren hat sich häufig als vorteilhaft erwiesen. Ebenso konnte als Vorbehandlungsverfahren die zum

ersten Mal an flüssigen Wirtschaftsdüngern getestete ND-Methode überzeugen und führte bei verschiedenen Elementen zu guten bis sogar besten Ergebnissen. Im Vergleich mit Literaturwerten zur Modellgüte für die Schätzung von Inhaltsstoffen flüssiger Wirtschaftsdünger entsprechen diese Ergebnisse den besten veröffentlichten Werten oder übertreffen sie sogar [CXH13].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass für gute Resultate sowohl ein geschickter Versuchsaufbau als auch ganz unterschiedliche Spektren-Vorverarbeitungen benötigt werden. Zudem hat die Untersuchung zur Bedeutung der Wellenlängenbereiche für die Vorhersagegüte gezeigt, dass Wellenlängen aus dem Vis- und NIR-Bereich gleichermaßen wichtig sind. Eine Vorort-Analyse der Wirtschaftsdünger durch den Landwirt selbst kann demnach in Betracht gezogen werden.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Projekt MetaGülle durchgeführt. Ein besonderer Dank gilt hierbei der DBU für die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen AZ 33702).

Literaturverzeichnis

[RV19] Rubenschuh, U.; Volz, F.: Nährstoffgehalte in Gülle online mit Sensoren bestimmen. In: DLG kompakt, Hg. v. DLG, 2019.

[Wo98] Wold, S.; Antti, H.; Lindgren, F.; Öhman, J.: Orthogonal signal correction of near-infrared spectra. In: Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 44 (1), S. 175–185, 1998.

[SGK13] Schirrmann, M.; Gebbers, R.; Kramer, E.: Performance of Automated Near-Infrared Reflectance Spectrometry for Continuous in Situ Mapping of Soil Fertility at Field Scale. In: Vadose Zone Journal 12 (4), 2013.

[RBE09] Rinnan, Å.; van den Berg, F.; Engelsen, S. B.: Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. In: TrAC Trends in Analytical Chemistry 28 (10), S. 1201–1222, 2009.

[WJC93] Wold, S.; Johansson, E.; Cocchi, M: PLS - partial least-squares projections to latent structures. In: 3D QSAR in drug design Volume 1, Hg. v. Kubinyi,H., KLUWER/ESCOM. Leiden, The Netherlands, 1993.

[Br84] Breiman, L.; Friedman, J. H.; Olshen, R. A.; Stone, C. J. Classification And Regression Trees: Taylor & Francis, 1984.

[CXH13] Chen, L.; Xing, L.; Han, L.: Review of the application of near-infrared spectroscopy technology to determine the chemical composition of animal manure. In: Journal of environmental quality 42 (4), S. 1015–1028, 2013.

[HTF09] Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman, J.H.: The elements of statistical learning. Data mining, inference, and prediction. Second edition, corrected at 12th printing 2017. New York, NY: Springer (Springer series in statistics), 2009.

A mathematical model to quantitatively calculate the trade-offs between ESs within a DSS

Seyed-Ali Hosseini-Yekani and Peter Zander [1]

Abstract: Farmers tend to develop a production plan for their farm based on experience and expectations regarding costs, yields and revenues for their different production options. This is – especially in connection with livestock and/or biogas production systems – a complex decision problem that can be solved using mathematical programming approaches. Currently farmers are additionally expected to consider ecosystems services when optimising their production, some of which can be rewarded through various payment schemes. The study of the trade-off between ESs is an important issue that helps to optimize decisions about their use as well as their conservation. Despite the increase in the number of studies on ESs and the trade-off between them, the number of studies on how to quantitatively calculate and manage these trade-offs is still scarce. In the absence of a market to directly discover the value of ESs, economic valuation is a useful research and policy tool for determining the value and prioritization of ESs by assigning a monetary value for the services provided by them. But these methods usually value ESs separately and based on surveys of their consumers' willingness to pay. The whole farm mathematical modelling approach within the project DAKIS (Digital Agricultural Knowledge and Information System) will allow for the determination of the shadow value of ESs simultaneously based on their society's supply and demand and their impact on the farmer's income or cost. This conceptual paper, while introducing this feature in order to evaluate and prioritize the ESs more comprehensively and accurately, shows how it can be used to quantify the effect of changes in the society's supply and demand of each ESs on the trade-offs between them.

Keywords: ESs trade-off, economic valuation, shadow value, Decision Support System, DAKIS

1 Introduction

Increasing environmental awareness, along with the implementation of incentive policies by governments in this regard, has made it important to focus on ESs in designing DSS which are supposed to help farmers in determining their optimal copping pattern. But the challenge is how to value and prioritize ESs in optimizations while there is always trade-off between them [Li21]. Although many studies have been conducted by researchers on the trade-off between ESs, only a limited number of studies have been conducted about quantifying this trade-off [Na20]. In the absence of a market for pricing ESs, economic valuations that assign a monetary value to ESs are good tools to prioritize ESs [MKO19]. However, these tools have two main problems. First, despite the existence of an obvious trade-off between ESs, they are valued separately. Second, these evaluations are based

[1] Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Farm Economics and Ecosystem Services Research Group, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Hosseini@zalf.de, Peter.Zander@zalf.de

solely on the opinions of their consumers or producers about their willingness to pay or to receive. Therefore, in order to eliminate these weaknesses, first, it is necessary to evaluate the ESs simultaneously and second, this valuation should be based on the actual income that their beneficiaries earn from their consumption or the actual cost that their producers expense to produce them. The whole farm mathematical modelling approach within the project DAKIS is part of a chain of measurements and models using new technologies to determine the level of ESs on farm consumption and provision for specific (soil, weather, spatial context) cropping systems. The whole farm model will obtain this information as additional coefficients for each production activity. It is based on MODAM[2] [Sc20]; [Vi18], to which equations have been added for valuation of ESs and which is used to determine the optimal amount of their provision and consumption within a farm.

2 General form of whole farm mathematical model within DAKIS

The general simplified form of the mathematical model which will be used within DAKIS is as follows:

$$
\begin{aligned}
&\underset{X}{\text{Max}} \quad GM = \sum_{t=1}^{T}\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J}(1+r)^{-t} gm_{t,j} X_{t,f,j} \\
&\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} a_{t,i,f,j} X_{t,f,j} \le b_{t,i} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ i = 1,2,\dots,I \\
&\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} c_{t,s,f,j} X_{t,f,j} \le ess_{t,s} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ s = 1,2,\dots,S \\
&\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} p_{t,d,f,j} X_{t,f,j} \ge esd_{t,d} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ d = 1,2,\dots,D \\
&X_{t,f,j} \ge 0 \qquad (1)
\end{aligned}
$$

Where GM is the maximized net present value of farmer's total gross margin during the planning years, r is discount rate, $gm_{t,j}$ is the gross margin of one unit of crop j in year t, $X_{t,f,j}$ is the optimal cultivation area of crop j at the field f in year t, $a_{t,i,f,j}$ is technical coefficient of constraint i for producing one unit of crop j at field f in year t, $b_{t,i}$ is total available amount of constraint i in year t, $c_{t,s,f,j}$ is consumption of ESs s for producing one unit of crop j at field f in year t e.g. soil nitrogen content as a result of producing one hectare of each crop, $ess_{t,s}$ is total society's supply of ESs s in year t e.g. maximum allowable Nitrate concentration in leachate, $p_{t,d,f,j}$ is provision of ESs d by producing one unit of crop j at field f in year t e.g. erosion-reducing effect of producing one hectare of each crop and $esd_{t,d}$ is total society's demand of ESs d in year t e.g. recommended minimum erosion control. It also should be noted that a whole farm model has many components including Herd, Feeding, Stables, Buildings, Investments, Machinery, Labour, Manure, Fertilization, Biogas components, where the first constraint $b_{t,i}$ of the

[2] Multi-Objective Decision support tool for Agro-ecosystem Management

model represents all these components. Taking into account the slack variable of constraint i in year t ($Slack_{t,i}^{b}$), slack variable of society's supply of ESs s in year t ($Slack_{t,s}^{ess}$) and surplus variable of society's demand of ESs d in year t ($Surplus_{t,d}^{esd}$) in order to convert the constraints with unequal sign to equal, the above model can be converted to the following Lagrange function.

$$\begin{aligned}&\underset{X}{\text{Max}} \quad \mathcal{L} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J}(1+r)^{-t} gm_{t,j}X_{t,f,j} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\Lambda_{t,i}\left[b_{t,i} - \right.\\ &\left.\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} a_{t,i,f,j}X_{t,f,j} - Slack_{t,i}^{b}\right] + \sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} SR_{t,s}\left[ess_{t,s} - \right.\\ &\left.\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} c_{t,s,f,j}X_{t,f,j} - Slack_{t,s}^{ess}\right] + \sum_{t=1}^{T}\sum_{d=1}^{D} SC_{t,d}\left[esd_{t,d} - \right.\\ &\left.\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} p_{t,d,f,j}X_{t,f,j} + Surplus_{t,d}^{esd}\right] \end{aligned} \tag{2}$$

Where, Lagrange multipliers $\Lambda_{t,i}$, $SR_{t,s}$ and $SC_{t,d}$ are dual or shadow prices of $b_{t,i}$, $ess_{t,s}$ and $esd_{t,d}$ respectively and can be defined as follows.

$$\Lambda_{t,i} = {\partial\mathcal{L}}/{\partial b_{t,i}} \quad , \quad SR_{t,s} = {\partial\mathcal{L}}/{\partial ess_{t,s}} \quad , \quad SC_{t,d} = {\partial\mathcal{L}}/{\partial esd_{t,d}} \tag{3}$$

$SR_{t,s}$ calculates the change of farmer's gross margin as a result of consumption of one more unit of ESs s in year t byvf farmer "*Ceteris paribus*". Also, $SC_{t,d}$ measures the change of farmer's gross margin as a result of provision of one more unit of ESs d in year t by farmer "*Ceteris paribus*". As can be seen, first, these values, regardless of the farmer's willingness to pay or receive, are calculated on the basis of the income generated by the consumption of each unit of ESs for the farmer or the cost incurred by the farmer in producing each unit of ESs. Second, as these values are calculated simultaneously, the interaction and trade-off between ESs are taken into account in their measurement. To calculate these shadow prices directly, the following dual model can be solved.

$$\begin{aligned}&\underset{\Lambda,SR,SC}{\text{Min}} \quad \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} b_{t,i}\Lambda_{t,i} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} ess_{t,s}SR_{t,s} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{d=1}^{D} esd_{t,d}SC_{t,d}\\ &\sum_{i=1}^{I} a_{t,i,f,j}\Lambda_{t,i} + \sum_{s=1}^{S} c_{t,s,f,j}SR_{t,s} + \sum_{d=1}^{D} p_{t,d,f,j}SC_{t,d} \geq (1+r)^{-t} gm_{t,j}\\ &\qquad for\ t = 1,2,\dots,T, f = 1,2,\dots,F\ and\ j = 1,2,\dots,J\\ &\Lambda_{t,i} \geq 0, SR_{t,s} \geq 0\ and\ SC_{t,d} \leq 0 \end{aligned} \tag{4}$$

$SR_{t,s}$ is a good measure to calculate the Green Tax on ESs that the farmer consumes and $SC_{t,d}$ is an appropriate criterion to determine the Payments for ESs that the farmer produces. The point to be noted in solving Model (1) or its dual Model (4) is that, since the purpose of solving them is to simultaneously evaluate the ESs by calculating the shadow prices of their society's supply and demand constraints, this model should not be nonlinear or integer in any way. Therefore, it is necessary to temporarily exclude binary decision variables that will possibly enter the model for example to select different investment options (and not all investment related equations). These variables will be

added again later to the final model (see section 4), which does not need to be linear or non-integer.

3 Quantification of trade-off between ESs

Of course, the level of these shadow prices depends entirely on the society's supply and demand of each ESs. This dependence can be quantified by performing a sensitivity analysis on the society's supply and demand of each ESs. Performing this sensitivity analysis, in addition to determining the shadow price of ESs in each range of society's supply and demand, will also determine the shadow price of other ESs in those ranges and in this way, quantification of trade-off between ESs will be achieved. For example if the shadow return of ESs *s* in year *t* is $SR^{*}_{t,s}$, this value will be valid at society's supply levels $ess^{min}_{t,s}$ and $ess^{max}_{t,s}$ of the ESs. Increasing the society's supply from $ess^{max}_{t,s}$ will reduce the shadow price to $SR^{**}_{t,s}$ and decreasing the society's supply from $ess^{min}_{t,s}$ will increase the shadow price to $SR^{***}_{t,s}$. By performing the society's supply sensitivity analysis of the ESs *s* in year *t* continuously, its shadow price for each range of society's supply can be calculated in the form of Table 1. The result of these calculations will be the deriving of the on farm demand function for ESs *s* in year *t* as shown in Figure 1.

Range of feasibility of society's supply of ESs *s* in year *t*	Shadow Return of ESs *s* in year *t*
$0 \le ess_{t,s} < ess^{nmin}_{t,s}$	$SR^{****}_{t,s}$
$ess^{nmin}_{t,s} \le ess_{t,s} < ess^{min}_{t,s}$	$SR^{***}_{t,s}$
$ess^{min}_{t,s} \le ess_{t,s} \le ess^{max}_{t,s}$	$SR^{*}_{t,s}$
$ess^{max}_{t,s} < ess_{t,s}$	$SR^{**}_{t,s}$
$ess^{nmax}_{t,s} < ess_{t,s} \le \infty$ ^{nmax}	0

Tab. 1: Sensitivity analysis of society's supply of ESs *s* in year *t*

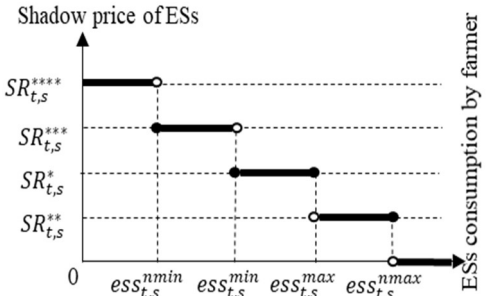


Fig. 1: On farm demand function for ESs *s* in year *t*

Similarly, the society's demand for each ESs can be sensitively analysed and the shadow prices corresponding to each range of society's demand can be calculated. For example, if the shadow cost of ESs *d* in year *t* in the range of society's demand $esd^{min}_{t,d}$ and $esd^{max}_{t,d}$ is equal to $SC^{*}_{t,d}$, a rise in society's demand from $esd^{max}_{t,d}$ causes a rise in shadow price to the level $SC^{***}_{t,d}$ and a drop in society's demand from level $esd^{min}_{t,d}$, causes a fall in shadow price to the level $SC^{**}_{t,d}$. Continuing this sensitivity analysis, the shadow price of ESs *d* in

year *t* for each range of society's demand is specified in Table 2. Using this information, on farm supply function of ESs *d* in year *t* can be derived as shown in Figure 2.

Range of feasibility of society's demand of ESs *d* in year *t*	Shadow cost of ESs *d* in year *t*
$0 \leq esd_{t,d} < esd_{t,d}^{nmin}$	0
$esd_{t,d}^{nmin} \leq esd_{t,d} < esd_{t,d}^{min}$	$SC_{t,d}^{**}$
$esd_{t,d}^{min} \leq esd_{t,d} \leq esd_{t,d}^{max}$	$SC_{t,d}^{*}$
$esd_{t,d}^{max} < esd_{t,d} \leq esd_{t,d}^{nmax}$	$SC_{t,d}^{***}$
$esd_{t,d}^{nmax} < esd_{t,d} \leq \infty$	$SC_{t,d}^{****}$

Tab. 2: Sensitivity analysis of society's demand of ESs *d* in year *t*

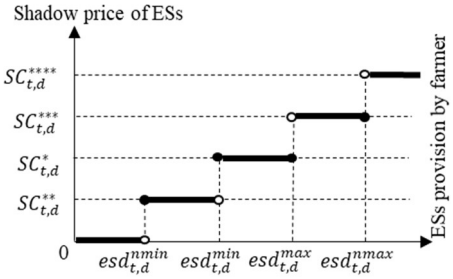


Fig. 2: On farm supply function for ESs *d* in year *t*

4 Determination of optimal consumption and provision of ESs

Having the shadow price of each ESs and using them as the weights of each ESs (Optimal values of *SR* and *SC* obtained from solving Model (4)), it will be possible to determine the optimal amount of consumption ($ESS_{t,s}^{c}$) and provision ($ESS_{t,d}^{p}$) of each ESs by the farmer at the same time as optimizing the whole farm activities. For this purpose, as shown in the following model, instead of maximizing the farmer's gross margin, the social gross margin which in addition to explicit economic returns also includes implicit incomes and costs from consumption and provision of ESs is maximized.

$$\underset{X,ESS^{c},ESS^{p}}{\text{Max}} \quad SGM = \sum_{t=1}^{T}\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{d=1}^{D}(1+r)^{-t}\left[gm_{t,j}X_{t,f,j} - \overline{SR}_{t,s}ESS_{t,s}^{c} - \overline{SC}_{t,d}ESS_{t,d}^{p}\right]$$

$$\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} a_{t,i,f,j}X_{t,f,j} \leq b_{t,i} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ i = 1,2,\dots,I$$

$$\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} c_{t,s,f,j}X_{t,f,j} = ESS_{t,s}^{c} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ s = 1,2,\dots,S$$

$$\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{J} p_{t,d,f,j}X_{t,f,j} = ESS_{t,d}^{p} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ d = 1,2,\dots,D$$

$$ESS_{t,s}^{c} \leq ess_{t,s} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ s = 1,2,\dots,S$$

$$ESS_{t,d}^{p} \geq esd_{t,d} \qquad for\ t = 1,2,\dots,T\ and\ d = 1,2,\dots,D$$

$$X_{t,f,j} \geq 0, ESS_{t,s}^{c} \geq 0\ and\ ESS_{t,d}^{p} \geq 0 \qquad (5)$$

In order to calculate the social gross margin (SGM), it is sufficient to subtract the social cost of consuming ESs that generates private income for the farmer from her/his gross margin and add the social income of ESs provision that creates private costs for the farmer to her her/his gross margin. To calculate the social cost and income of consumption and provision of ESs, respectively the shadow return ($\overline{SR}_{t,s}$) and shadow cost ($\overline{SC}_{t,d}$) of each unit of ESs, which have already been calculated as their weights, are used. In other words, this model measures the optimal level of crops production as well as the optimal level of the provision and consumption of ESs, provided that the total social cost of consuming ESs is deducted from farmer's gross margin as a green tax and the total social income from the provision of ESs is given to her/him as a payment for ESs.

5 Conclusion

Due to the need to considering ESs in designing agricultural DSS on the one hand and the problem of valuation and prioritization of ESs in these DSS due to the existence of trade-off between them on the other hand, this conceptual paper introduces the whole farm mathematical modelling approach within DAKIS which has the ability to address this challenge. In this model, by simultaneously valuing ESs by calculating their shadow price, the optimal cropping pattern of farmers is determined by maximizing their social gross margin instead of private gross margin. Also, using this model, it will be possible to derive the on farm supply and demand functions for each ESs and examine the effect of their changes on the trade-off between ESs.

References

[Li21] Liang, J.; Li, Sh.; Li, X.; Li, X.; Liu, Q.; Meng, O.; Lin, A.; Li, J.: Trade-off analyses and optimization of water-related ecosystem services (WRESs) based on land use change in a typical agric. watershed, southern China. Journal of Cleaner Production 279: 1-11, 2021.

[MKO19] Müller, A.; Knoke, T.; Olschewski, R.: Can existing estimates for ecosystem service values inform forest management? Forests 10 (2): 1-17, 2019.

[Na20] Naimea, J; Morab, F.; Sánchez-Martínezb, M.; Arreolab, F.; Balvanerab, P.: Economic valuation of ecosystem services from secondary tropical forests: trade-offs and implications for policy making. Forest Ecology and Management 473: 1-10, 2020.

[Sc20] Schuler, J.; Adelhart Toorop, R.; Willaume, M.; Vermue, A.; Schläfke, N.; Uthes, S.; Zander, P.; Rossing, W.: Assessing climate change impacts and adaptation options for farm performance using bio-economic models in southwestern France. Sustainability 12 (18): Article 7528, 2020.

[Vi18] Vilvert, E.; Lana, M.; Zander, P.; Sieber, S.: Multi-model approach for assessing the sunflower food value chain in Tanzania. Agricultural Systems 159: 103-110, 2018.

Motivation und Konzept zur boden- und luftgestützten Detektion von Virosen in der Pflanzgutproduktion von Stärkekartoffeln

Julius Kirfel[1], Stefan Hinck[1], Juliane Renner[2], Arshnoor Singh [3], Peter Steinbach[4] und Arno Ruckelshausen[1]

Abstract: Durch Kartoffelviren kommt es zu erheblichen Ertragsverlusten in der Produktion sowie zu Qualitätseinbußen in der Züchtung und Vermehrung von Kartoffeln. Die frühzeitige Bereinigung von befallenen Vermehrungsbeständen hat sich als effektivste Maßnahme zur Vermeidung von Virusbefall bewährt. Die manuelle Selektion von Viren im Feldbestand ist mit hohem personellen Aufwand verbunden. Da erkrankte Pflanzen nicht immer eindeutige, selektierbare Symptome zeigen, lassen sich nicht alle virenbefallenen Pflanzen in Feldbeständen selektieren. Durch den Technologiefortschritt im Bereich der bildgebenden Sensortechnik zeigen sich neue Ansätze für die Detektion von viruskranken Pflanzen in Feldbeständen. Moderne Sensoren bieten die Möglichkeit, georeferenzierte und hochauflösende Informationen zum Virusbefall zu gewinnen. Die Sensoren können dabei boden- bzw. luftgestützt eingesetzt werden.

Keywords: Kartoffel-Virus-Detektion, hyperspektrale Bildgebung, Multi-wavelength laser line profiling (MWLP) System, mobile Sensorsysteme, Sensorfusion

1 Einleitung

Kartoffelviren führen jährlich zu erheblichen Ertragsverlusten in der Produktion sowie zu Qualitätseinbußen in der Züchtung und Vermehrung von Kartoffeln. Ein nicht erkannter Virusbefall wird aufgrund der vegetativen Vermehrung an die nächste Vermehrungsstufe bzw. Pflanzengeneration weitergegeben (Sekundärinfektion). Eine weitere Infektionsquelle stellen Blattläuse (Vektoren) dar. So können bereits infizierte Blattläuse die Viren in einen gesunden Feldbestand einbringen oder die Erreger von erkrankten Kartoffelpflanzen auf gesunde Pflanzen übertragen (Primärinfektion). Die effektivste Maßnahme zur Vermeidung von Virusbefall in der Pflanzkartoffelvermehrung ist daher die frühzeitige Bereinigung von befallenen Pflanzen in Vermehrungsbeständen. Dabei werden die erkrankten Pflanzen, als potenzielle Infektionsquelle, aus dem Feldbestand entfernt. Zur Wahrung der Qualität und Pflanzgutgesundheit werden amtliche Kontrollen bei Pflanzkartoffeln durchgeführt. Im ersten Schritt finden wiederholt

[1] Hochschule Osnabrück, Competence Center of Applied Agricultural Engineering COALA, 49076 Osnabrück, julius.kirfel@hs-osnabrueck.de, s.hinck@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de
[2] Böhm-Nordkartoffel Agrarproduktion GmbH & Co. OHG, 84085 Langquaid, jrenner@bna-kartoffel.de
[3] Chitkara University, Punjab, Indien, arshnoorsingh97@gmail.com
[4] Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei (LALLF) Mecklenburg-Vorpommern, 18276 Gülzow, Peter.Steinbach@lallf.mvnet.de

Feldbestandprüfungen statt. Die Selektion von Viren im Feldbestand ist mit hohem personellen Aufwand verbunden und verlangt erfahrende und geschulte Selekteure. Dabei lassen sich nicht alle virenbefallenen Pflanzen in Feldbeständen erkennen und selektieren, da erkrankte Pflanzen nicht immer eindeutige, selektierbare Symptome zeigen. Der Virusbefall kann in diesem Fall erst nach der Knollenentnahme durch eine Laborprüfung erkannt werden. Aus diesem Grund sind hohe Ertragsverluste durch Virusbefall die Folge, z. B. bis zu 50 % durch Kartoffel M-Virus (PVM) oder bis zu 90 % Kartoffel-Blattrollvirus (PLRV) [TS18]. Durch den Technologiefortschritt im Bereich der bildgebenden Sensortechnik zeigen sich neue Ansätze für die automatisierte Erfassung von viruskranken Pflanzen in Feldbeständen.

2 Material und Methoden

2.1 Anerkennungsprozess von Pflanzgut

Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt das in Deutschland anerkannte Verfahren zur Pflanzkartoffelanerkennung.

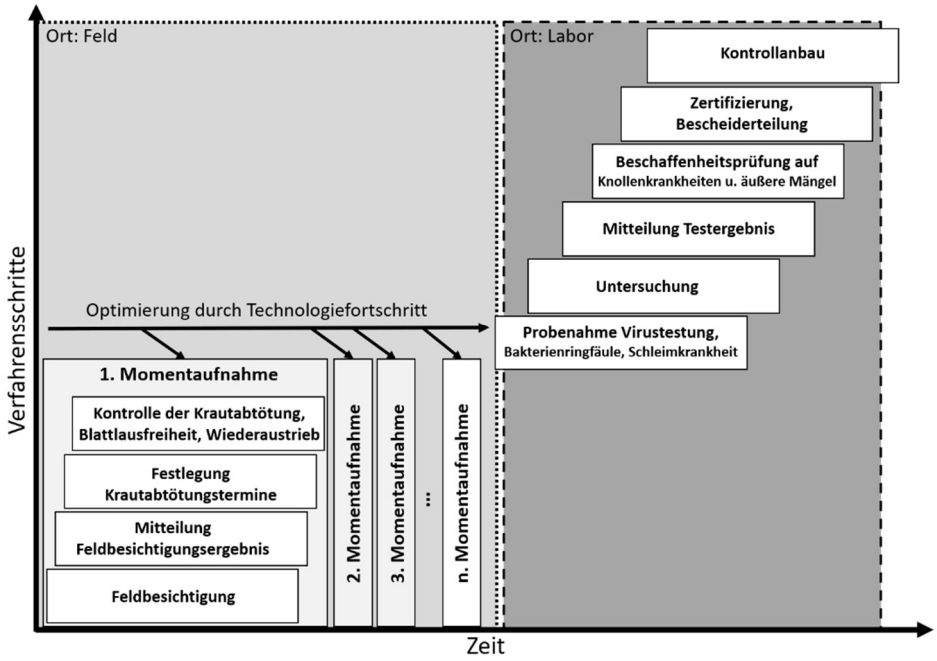


Abb. 1: Verfahren der Pflanzkartoffelanerkennung in Deutschland; Optimierungspotenzial durch Technologiefortschritt; nach [Th18]

Die Anerkennung von Pflanzgut ist ein sequenzieller Prozess, der sich grob in zwei Phasen untergliedert. Die erste Phase des Anerkennungsprozesses ist die Begehung und Begutachtung des Feldbestandes. Diese Feldbesichtigungen werden von amtlich verpflichteten Feldinspekteuren durchgeführt. Im Anerkennungsprozess sind mindestens zwei Feldbesichtigungen vorgesehen. In Mecklenburg-Vorpommern sind drei Besichtigungen üblich: zum Zeitpunkt des Längenwachstums, zu Blühbeginn und Blühende. Die zweite Phase ist die Prüfung einer repräsentativen Knollenprobe im Labor. Möglich sind hier Testungen mittels ELISA-Test oder PCR-Test. Erst nach der bestandenen Laborprüfung ist das Pflanzgut zertifizierbar. [Th18]

2.2 Motivation und Konzept

Das aktuelle Vorgehen im Anerkennungsprozess kann durch Technologieeinsatz optimiert werden. Die Digitalisierung schafft wichtige Voraussetzungen für eine Automatisierung von Prozessabläufen. Die Feldbegehungen liefern nur zu den festgelegten Zeitpunkten und unter hohem Personalbedarf eine Momentaufnahme. Es kann vorkommen, dass Flächen, auf denen bereits vermeintlich erfolgreich selektiert wurde, die abschließende Laborprüfung nicht bestehen, da nach der Begehung Vektoren wieder Viren in den Bestand eingeflogen haben. Ein Sensorsystem ermöglicht eine Transformation von der subjektiven, personenabhängigen Bonitur zu einem objektiven Messverfahren. So wird eine kontinuierliche und automatisierbare Überwachung der Feldbestände ggf. mit einem selektiven Aktorsystem zur direkten Entnahme der erkrankten Pflanzen möglich werden. Der hohe personelle Aufwand kann dadurch reduziert werden. Pflanzen mit asymptomatischem Krankheitsverlauf sind bis dato nicht selektierbar und können erst durch eine Laborprüfung erkannt werden. Durch den Sensoreinsatz ergeben sich neue Potenziale für eine Erkennung vor der Laborprüfung. Kann ein Virusbefall in einem sehr frühen Stadium auf dem Feld erkannt werden, können die kranken Pflanzen rechtzeitig entfernt werden. Die Infektionsausbreitung durch Vektoren wird deutlich reduziert. Durch das kontinuierliche Monitoring der Pflanzen sind beispielsweise kurzfristige Kontrollen bei Blattlaus-Warnungen möglich. Des Weiteren steigt die Wahrscheinlichkeit der Anerkennung durch Prüfstellen, weil die Anzahl an viruskranken Pflanzen bereits vor der amtlichen Probenentnahme deutlich reduziert werden kann. Es steigen ebenfalls die Chancen, auch Pflanzen mit schwachen Symptomen zu detektieren. Perspektivisch ist durch den Technologiefortschritt eine direkte Zertifizierung von Pflanzgut auf dem Feld denkbar.

Moderne Sensoren sollen in diesem Forschungsprojekt boden- bzw. luftgestützt eingesetzt werden und zukünftig georeferenzierte und hochauflösende Informationen zum Virusbefall liefern. Für robuste, feldbasierte Prozesse müssen diese Sensorsysteme in der Lage sein, die variablen Pflanz- und Feldbedingungen sowie die auftretenden Störgrößen zu kompensieren. Um die Komplexität der feldbasierten Detektion zu reduzieren, finden die Feldversuche auf Versuchsflächen des Landesamtes für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei (LALLF) in Mecklenburg-Vorpommern statt. In dem in Deutschland einzigartigen Virusschaugarten werden alle sechs in Europa wichtigen Kartoffelviren (A-, BR-, M-, S-, X- und Y-Virus) an verschiedenen

Kartoffelsorten gezeigt. Es werden definiert gesunde und kranke Pflanzen angebaut, so wird eine Erfassung der Sorten- und Virusvarianz ermöglicht. Alle Pflanzen werden im Labor auf Viruserkrankungen getestet und die Datenaufnahme von definiertem Material sichergestellt. Die Kartoffeln wachsen aus infizierten Knollen (Sekundärinfektionen) und wurden so ausgewählt, dass sich die Virussymptome optimal an den Pflanzenteilen zeigen. Nach der Erfassung von Sorten- und Virusvarianz ist der nächste Schritt die Auswahl geeigneter Sensorik und der Bau eines Trägerfahrzeugs für feldbasierte Messungen. Sensorik und Trägersystem müssen in der Lage sein, eine Detektion über die gesamte Wachstumsperiode zu ermöglichen. Dabei müssen schwach- bzw. asymptomatische Pflanzen als „viruskrank“ identifiziert sein. Die auftretenden Störgrößen müssen erkennbar und kompensierbar sein. Deshalb müssen die notwendigen Algorithmen stetig weiterentwickelt und die Datenaufnahme hinsichtlich der Störgrößenkompensation verbessert werden.

3 Erste Ergebnisse

Erste Voruntersuchungen wurden in der Pflanzsaison 2020 auf den Versuchsflächen des LALLF Ende Mai und Anfang Juni durchgeführt. Die unterschiedlichen Sorten mit den verschiedenen Virusarten wurden mit Punktspektrometern vermessen. Dazu wurden Blätter von den Pflanzen entnommen und untersucht. Gemessen wurde mit einem Spektrometer von StellarNet (220nm bis 1100nm) und mit einem Spektrometer von Tec5 (895nm bis 2210nm). Als Weißreferenz wurde Spectralon® verwendet.

3.1 Erste Auswertung der Voruntersuchungen

Erste Ergebnisse zur Sortenvarianz bei gesunden Pflanzen der Kartoffelsorten Christel, Linda und Westamyl sind in Abb. 2 dargestellt.

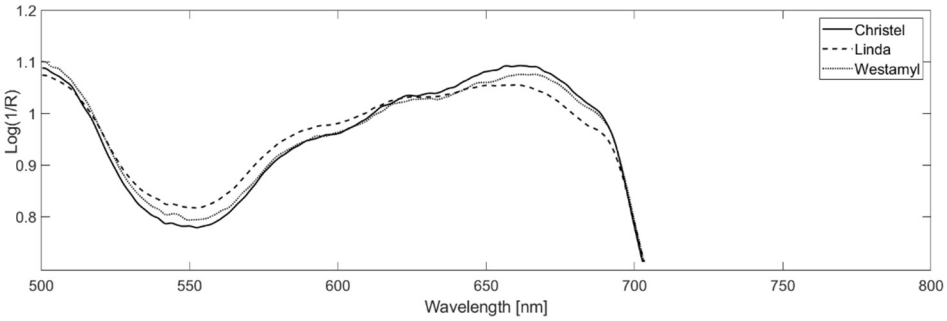


Abb. 2: Sortenvarianz bei gesunden Pflanzen der Kartoffelsorten: Christel, Linda und Westamyl, Spektraldatenkorrektur: multiplicative scatter correction (msc)

Die ersten Auswertungen zeigen eine ausgeprägte Sortenvarianz von gesunden Pflanzen. Für eine sichere Viren-Detektion unter Feldbedingungen ist nach aktuellem Kenntnisstand eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Kartoffelsorten notwendig. Die Abb. 3 zeigt die Auswirkungen einer Virusinfektion auf die spektrale Signatur.

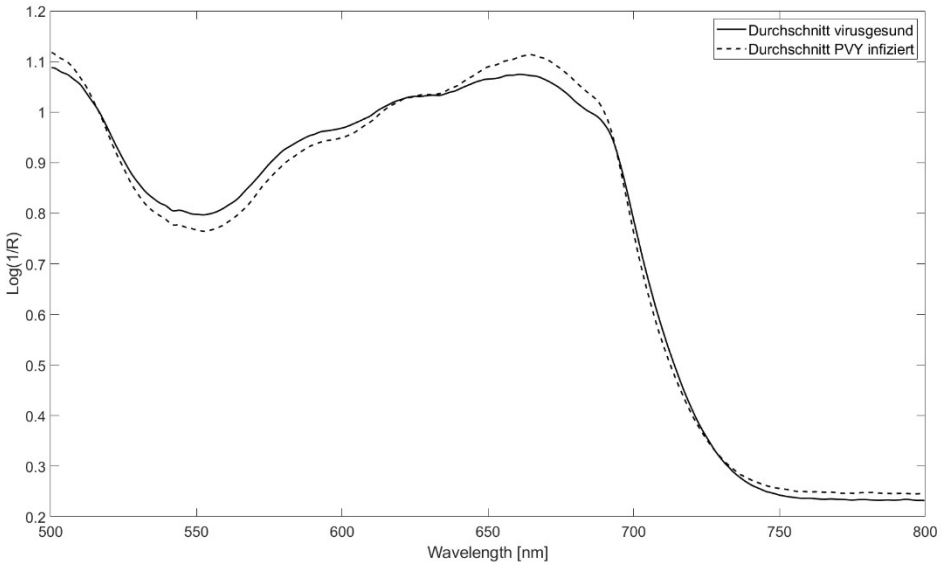


Abb. 3: Auswirkung des Y-Virus auf die spektrale Signatur, Durchschnitt über drei Sorten, Spektraldatenkorrektur: multiplicative scatter correction (msc)

Um die Auswirkungen einer Viruserkrankung auf die spektrale Signatur vereinfacht darzustellen, wurden für die Spektren von den drei gezeigten Kartoffelsorten jeweils für virusgesunde und viruskranke Pflanzen ein Durchschnittsspektrum berechnet. Am Beispiel des Y-Virus zeigen sich deutliche Veränderungen der spektralen Signatur.

3.2 Auswahl der Sensorik und weiteres Vorgehen

Auf Basis der ersten Ergebnisse wurden Sensoren für die Pflanzsaison 2021 ausgewählt. Zum Einsatz kommen werden das an der Hochschule Osnabrück entwickelte Multi-wavelength laser line profiling (MWLP) System [Sc19], welches Spektral und 3D-Informationen kombiniert und eine Photonfocus snapshot mosaic Hyperspektralkamera. Anders als beispielsweise bei [Po19] werden keine linienbasierten Hyperspektralkameras eingesetzt. Eine mobile Sensorplattform für die bodengestützte Messung ist fertiggestellt. Die snapshot mosaic Kamera wird ebenfalls mit Hilfe einer Drohne eingesetzt.

4 Diskussion

Ein Sensorsystem zur Detektion von Kartoffelviren in Feldbeständen bietet die Möglichkeit, die Varianz und Subjektivität einer personengebundenen Bonitur durch ein objektives Messverfahren zu ersetzen. Damit wird die Basis für die Automatisierung der Feldprozesse geschaffen. Die ersten Voruntersuchungen zeigen, wie auch von [Kr17] und [Co19] berichtet, sorten- und virusabhängige Veränderungen in der spektralen Signatur der Kartoffelpflanzen. Gerade im Wellenlängenbereich von 500-900nm zeigen sich deutliche Veränderungen der spektralen Signatur der Pflanzen. Die ersten Ergebnisse bestätigen die Angaben von [Kr17] und [Co19].
Generell haben Veränderungen im Blattgewebe, z. B. Farbe, Struktur, Wassergehalt oder auch Pflanzenstress, einen Einfluss auf die spektrale Signatur. Da alle Blattproben auf dem gleichen Feld in unmittelbarer Nachtbarschaft und taggleich entnommen wurden, sind mögliche Störeinflüsse an allen Pflanzen gleichermaßen vorhanden. Das Potenzial einer optischen, schnellen und zerstörungsfreien Methode zur sensorbasierten Erkennung von Kartoffelviren ist gegeben und wird ebenfalls von [Co19] beschrieben.

Danksagung: Das dreijährige Projekt „Einsatz boden- und luftgestützter Sensorverfahren zur Detektion von Virosen in der Pflanzgutproduktion von Stärkekartoffeln“ wird durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages über den Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) sowie der Gesellschaft für Pflanzeninnovation e.V. (GFPi) und ihren Partnern gefördert. Dem Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern danken wir für die Bereitstellung der Versuchsflächen und für die Betreuung der Feldmessungen vor Ort.

Literaturverzeichnis

[Co19] Cobra, M.; Farshid, H.; Esmaeil, N. A.; Fatemeh, K.: Potential of spectroscopy for differentiation between PVY infected and healthy potato plants Journal of Crop Prozection 8/2019, 143-151,2019.

[Kr18] Krezhova, D.; Velichkova, K.; Petrov, N.; Maneva, S.: The effect of plant diseases on hyperspectral leaf reflectance and biophysical parameters. In (RAD Association) RAD Conference Proceedings vol. 2, 269-285, 2017.

[Po19] Polder, G.; Blok, P. M.; de Villiers, H. A. C.; van der Wolf, J. M.; Kamp, J.: Potato Virus Y Detection in Seed Potatoes Using Deep Learning on Hyperspectral Images. Frontiers in Plant Science 10/2019, 2019.

[Sc19] Scholz, C., Igelbrink, M., Strothmann, W., Ruckelshausen, A.: „Multi-wavelength laser line profiling (MWLP) System zur feldbasierten Bestimmung von 3D Strukturen, spektralen Eigenschaften und Wachstumsparametern von Pflanzen", Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 102, 2019, S. 127-135, ISSN 0947-7314.

[TS18] Thiel, W.; Steinbach, P.: Selektion in Pflanzkartoffeln – Erkennen und Bereinigen von Fremdbesatz und vermehrungsrelevanten Krankheiten, Agrimedia, Clenze, 2018.

Erste Schritte zu einer kontextsensitiven Navigation in einem langzeitautonomen Field-Monitoring-System

Benjamin Kisliuk[1], Mark Höllmann[1], Christoph Tieben[1], Jan Christoph Krause[1], Alexander Mock[2], Sebastian Pütz[2], Felix Igelbrink[2], Thomas Wiemann[1,2], Santiago Focke Martinez[1], Stefan Stiene[1] und Joachim Hertzberg[1,2]

Abstract: Autonome Kartierungssysteme für landwirtschaftliche Anwendungen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Derzeit sind die meisten Systeme ferngesteuert oder basieren auf einer einzigen globalen Umgebungsrepräsentation. Die alleinige Verwendung fester Roboterkarten und Aktionsschemata schränkt jedoch die Flexibilität autonomer Systeme ein. Insbesondere in der Landwirtschaft kann sich die Umgebung während der Vegetationsperioden schnell ändern, weshalb es einer kontextsensitiven Navigation bedarf. Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, ein autonomes System namens Autonome robotische Experimentier-Plattform (AROX) aufzubauen, das in der Lage ist, Bestandskarten über einen gesamten Vegetationszeitraum ohne Benutzereingriff zu erstellen. Dazu haben wir die Hardware-Infrastruktur zum Aufbewahren und Laden des Roboters sowie die erforderliche Software im Robot Operating System (ROS) aufgebaut, um die Kontextsensitivität zu realisieren.

Keywords: Kontextsensitive Navigation, Langzeit-Autonomie, Kartierung, Agra-Robotik, ROS

1 Einleitung

Um autonome Fahrzeuge für eine langzeitautonome Anwendung in dynamischen Umgebungen wie der Landwirtschaft erfolgreich einzusetzen, sollte der aktuelle Anwendungskontext berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu klassischen statischen Umgebungen, etwa Innenräumen, kann sich in der Landwirtschaft die Umgebung schnell ändern. Daher ist es nicht möglich, sich ausschließlich auf etablierte Lösungen, etwa auf Basis von Rasterkarten, zu verlassen. Abhängig von der Jahreszeit, dem Wetter, dem Zustand der Pflanzen und dem Layout des Feldes sind speziellere Lösungen erforderlich. Etablierte Methoden sind für einfache Anwendungsfälle gut getestet und verstanden und können daher zur Lösung von Teilproblemen eingesetzt werden.

[1] DFKI-Labor Niedersachsen, Planbasierte Robotersteuerung, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, vorname.nachname@dfki.de, https://dfki.de/pbr
[2] Universität Osnabrück, Wissensbasierte Systeme, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, vorname.nachname@uos.de, https://kbs.informatik.uos.de/

Das DFKI Labor Niedersachsen (DFKI NI) wird gefördert im Niedersächsischen Vorab durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und die VolkswagenStiftung.
Die Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ: 28DE103E18) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 031B0684D).

Abb. 1: Übersicht der verwendeten Hardwarekomponenten vom AROX (blau) und Container (orange) zur Langzeit-Pflanzenüberwachung

Durch die Kombination von klassischen Algorithmen mit neuartigen anwendungsspezifischen Methoden wollen wir sowohl den geometrischen als auch den semantischen Kontext berücksichtigen. Hierzu präsentieren wir das autonome System AROX zum Bestandsmonitoring in einer realen Feldumgebung. Das System besteht aus einem mobilen Roboter sowie einer Aufbewahrungs- und Ladeeinrichtung, welche sich in einem Container neben den überwachten Feldern befindet (siehe Abb. 1). In diesem Beispielszenario besteht das Ziel des Roboters darin, regelmäßig 3D-Scans eines Maisfeldes ohne Benutzerinteraktion durchzuführen.

2 Verwandte Arbeiten

Frühere Arbeiten beschreiben die Softwarekomponenten, die für eine robuste Roboternavigation benötigt werden [Ma10]. Viele von ihnen sind in verschiedenen Implementierungen zu finden, die im ROS Navigation Stack gesammelt wurden. Das übliche Setup für ein solches autonomes System besteht normalerweise aus einer Umgebungskarte, bei der es sich häufig um eine Art Rasterkarte handelt [HA85]. Zur Lokalisierung innerhalb einer solchen Karte dient AMCL [Fo99] in Innenraumszenarien oder das `robot_localization` Paket [TD14] für den Außeneinsatz. Pfadplanung und -ausführung sind typischerweise in einer globalen und lokalen Planung unterteilt. Für jede dieser Komponenten existieren in ROS bereits verschiedene Ansätze und Implementierungen.

Ein Beispiel für eine solche Implementierung ist das ROS-Paket `move_base`. Dieses bildet die Basis für das erweiterte Navigations-Framework Move Base Flex (MBF) [PSH18], das die gleichen Softwareschnittstellen verwendet. MBF wurde speziell entwickelt, um die hochdynamische und heterogene Natur von Navigationskontexten zu berücksichtigen. Dies wird ermöglicht, indem eine dynamische (online) Änderung der Konfiguration zugelassen wird und ein Austausch von Planungs- und

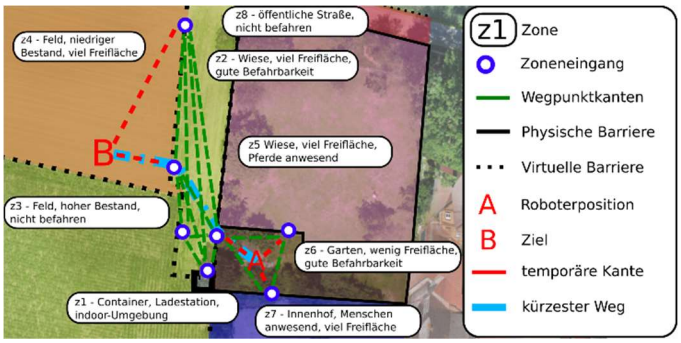


Abb. 2: Schematische Karte der Zonen, Wegpunkte und semantischen Informationen

Wiederherstellungsstrategien in Zustandsautomaten [BC10] unterstützt wird. Im Gegensatz zu den Ansätzen von Conner et al. [DJ17] werden hierbei Mehrfachinstanziierungen vermieden und somit der benötigte Rechenaufwand reduziert.

2.1 Semantische Karten

Im Allgemeinen stützen sich Karten zur Lokalisierung und Navigation ausschließlich auf räumliche Informationen. Schon früh wurden diese mit semantischen Bedeutungen angereichert. Erste Ansätze schlugen eine geschichtete Architektur vor, um die verschiedenen Informationsbereiche zu verschmelzen [LHS14] [Ku00], indem das Wissen über Objekte, Bereiche und Räume in der geometrischen Roboterkartendarstellung verankert wurde. Ein Beispiel für eine semantische Karte ist die Hybridkarte [Bu05], in der geometrische Darstellungen mit dem Wissen über die in der dargestellten Umgebung enthaltenen Entitäten, Klassen und Attribute sowie die Beziehungen zwischen ihnen inferierbar verknüpft werden [LP14].

3 Hardware Infrastruktur

Für langzeit-autonome Anwendungen in landwirtschaftlichen Umgebungen wird eine Basisstation benötigt. Diese dient zur Bereitstellung benötigter Versorgungsdienste oder -geräte wie z. B. einer induktiven Ladestation, einem NTRIP-Server zur Übermittlung von GNSS-Korrekturdaten, einer mobilen Internetverbindung sowie einem WLAN-Netzwerk zur lokalen Datenübermittlung. Außerdem schützt sie das System vor unbefugtem Zugriff und extremen Wetterbedingungen. In unserem Setup verwenden wir eine entsprechend ausgerüstete Wechselbrücke (RYTLE HUB, 3,7 m × 2,55 m × 2,1 m), die über ein Batteriesystem und zwei elektrische Schiebetore mit ausklappbaren Rampen verfügt.

Der AROX-Roboter ist eine zweiachsige mobile Plattform, die auf einem Innok Heros basiert. Zur Lokalisierung werden die Sensordaten einer IMU, die Odometrie und Multiband RTK GNSS Daten fusioniert. Neben diesen Sensoren werden

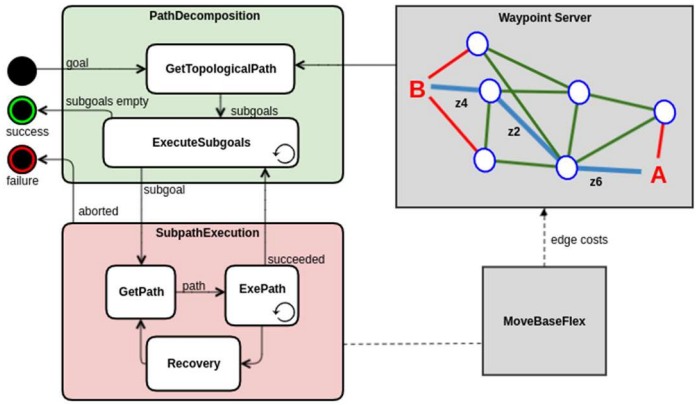


Abb. 3: Zustandsautomat der kontextsensitiven Navigation

zwei Laserscanner an der Vorder- und Rückseite der Plattform zur Kollisionsvermeidung und zur Lokalisierung verwendet. Für die Überwachung der Pflanzen und die Kartierung der Umgebung wird ein hochauflösender 3D-Laserscanner, wahlweise in Kombination mit einer kalibrierten hyperspektralen- oder RGB-Kamera, verwendet. Das komplette Setup ist in Abbildung 1 dargestellt.

4 Kontextsensitive Navigation und Planung

Zum Erreichen der oben genannten Ziele haben wir eine semantisch annotierte geometrische Karte der Umgebung erstellt und in verschiedene Navigationszonen unterteilt. Durch diesen Ansatz kann jeweils die am besten geeignete spezialisierte Planungs- und Navigationsmethode zum im geometrischen Umgebungsmodell angegebenen semantischen Kontext verwendet werden. Der Übergang der Zonen ist mit Wegpunkten beschrieben, an denen jeweils der Kontextwechsel durchgeführt wird. Zur Navigation innerhalb einer Zone dient eine angepasste Rasterkarte, die aus einer polygonalen 3D-Umgebungskarte abgeleitet wird [Pü16] und ebenfalls die Befahrbarkeit bzw. die Unebenheit der Oberflächen berücksichtig.

Abbildung 2 zeigt eine solche in Zonen aufgeteilte semantische Karte auf einem Feld neben einem Hof. Ausgehend von den Zonen wird ein topologischer Graph erstellt, der vom „Waypoint Server“ bereitgestellt wird. Wegpunkte werden als Knoten und mögliche Pfade als Kanten dargestellt. Die damit verknüpften Zonen werden im Waypoint Server mit den Informationen zum vorgesehenen Pfadplaner, Regler sowie den Zustandsautomaten das Recovery-Verhalten und der Art der Umgebungsrepräsentation gespeichert. Darüber hinaus wird die aktuelle Position des Roboters (A) und die angestrebte Zielposition (B) als temporärer Wegpunkt hinzugefügt, um mittels des Dijkstra-Algorithmus nach dem kürzesten Pfad suchen zu können.

Abb. 4: Registrierte Punktwolke des Experimentierfelds

Der resultierende Pfad wird in einem separaten Zustandsautomaten vorgehalten, überwacht und in Zwischenziele zerlegt. Diese „Path Decomposition State Machine“ dient als Schnittstelle zwischen Waypoint Server und der MBF-Navigation. Die Bewegung des Roboters zu einem Zwischenziel wird vom „SubpathExecution“-Zustandsautomaten ausgeführt. Die entsprechende Pfadplanung, der Regler sowie das Recovery-Verhalten wurden als Plugins für MBF implementiert und erlauben eine dynamische Konfiguration. Das Zusammenspiel der Komponenten sowie den Zustandsautomat zeigt Abbildung 3.

5 Exemplarische Anwendung

Wir demonstrieren die kontextsensitive Navigation anhand eines Testszenarios auf einem Experimentierfeld. Hier soll der Roboter autonom in festen Intervallen die Umgebung mit 3D-Scanner und Hyperspektralkamera erfassen, um z. B. die Dokumentation des Pflanzenwachstums zu dokumentieren oder Bonituren zu unterstützen. Die Daten werden dabei über die Netzwerkverbindung des Containers auf einen externen Server kopiert und dort weiterverarbeitet. Das RTK-GNSS wird zur groben Registrierung benutzt. In Abbildung 4 ist eine beispielhafte Punktwolke mit RGB-Werten dargestellt.

Zur Navigation wurde wie in Abbildung 2 gezeigt eine semantische Karte mit Zonen und Wegpunkten erstellt. Insgesamt gibt es acht Zonen, denen jeweils ein Typ zugeordnet ist, der die Regelungsparameter sowie das Recovery-Verhalten bestimmt. Im Beispiel soll sich der Roboter von Position A im Garten (Z 6) zur Zielposition B im Feld (Z 4) bewegen. Der Waypoint-Server ermittelt den kürzesten Pfad über die Grasfläche (Z 2), wobei zwei Wegpunkte passiert werden. Im Garten verwendet der Roboter einen „`safety_ctrl`“-Parametersatz, der einen DWA-Regler mit geringen Toleranzen und einer geringen Geschwindigkeit nutzt. Da in dieser Umgebung dynamische Hindernisse vorkommen können, wird auch das Recovery-Verhalten angepasst, sodass primär gewartet wird und sekundär schrittweise rückwärtsgefahren wird. Sobald der Wegpunkt zur Grasfläche passiert wurde, ändert sich das Verhalten des Roboters. Es wird nun ein eBand-Regler eingesetzt, der tolerantere Parameter und eine höhere Geschwindigkeit erlaubt. Zur Wiederherstellung wird primär eine Rotation zur Wegfindung durchgeführt. Im Feld wird derselbe Regler, allerdings mit reduzierter Geschwindigkeit und geringeren Toleranzen sowie dem „`safety_ctrl`“-Verhalten, eingesetzt.

6 Ausblick

In diesem Artikel haben wir erste Arbeiten zu einem vollständigen langzeit-autonomen Robotersystem in einer landwirtschaftlichen Umgebung vorgestellt. Das System ist komplett in ROS implementiert und ermöglicht die Verwendung bewährter Standardmethoden und anwendungsspezifischer Algorithmen und Karten. Der hier dargestellte Stand dient als erweiterbare Grundlage für die Realisierung der kontextsensitiven Navigation in dynamischen Umgebungen. In zukünftigen Arbeiten wird es mit einem semantischen Mapping-Framework kombiniert, um komplexere Planung und Ausführungsüberwachung zu ermöglichen und die autonomen Fähigkeiten zu verbessern.

Literaturverzeichnis

[BC10] Bohren, J.; Cousins, S.: The SMACH high-level executive [ROS news]. In IEEE Robotics & Automation Magazine, 2010, 17; S. 18–20.

[Bu05] Buschka, P.: An investigation of hybrid maps for mobile robots, 2005.

[DJ17] D. C. Conner; J. Willis: Flexible Navigation: Finite state machine-based integrated navigation and control for ROS enabled robots: SoutheastCon 2017, 2017; S. 1–8.

[Fo99] Fox, D. et al.: Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots, 1999; S. 343–349.

[HA85] H. Moravec; A. Elfes: High resolution maps from wide angle sonar: Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985; 116-121;

[Ku00] Kuipers, B.: Spatial semantic hierarchy. In Artificial Intelligence, 2000, 119; S. 191-233.

[LHS14] Lu, D. V.; Hershberger, D.; Smart, W. D.: Layered costmaps for context-sensitive navigation: IROS 2014, 2014; S. 709–715.

[LP14] Lang, D.; Paulus, D.: Semantic Maps for Robotics. In Robotics,Proc. of ICRA, ”Workshop on AI Robotics”, 2014.

[Ma10] Marder-Eppstein, E. et al.: The office marathon: Robust navigation in an indoor office environment: ICRA 2010, 2010; S. 300–307.

[PSH18] Pütz, S.; Simón, J. S.; Hertzberg, J.: Move Base Flex: A highly flexible navigation framework for mobile robots: IROS 2018, 2018.

[Pü16] Pütz, S. et al.: 3D Navigation Mesh Generation for Path Planning in Uneven Terrain: 9th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV 2016), 2016.

[TD14] T. Moore; D. Stouch: A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System: Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-13). Springer, 2014.

Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters

Stefan Kopfinger[1] und Beat Vinzent[1]

Abstract: Der autonome Feldroboter Farmdroid FD20 wurde hinsichtlich seiner Fähigkeit, Zuckerrüben zu säen und unkrautfrei zu halten, erprobt und bewertet. Die Bearbeitung mit dem Feldroboter wurde dabei unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus mit einem konventionellen Verfahren zur Aussaat und zur mechanischen Unkrautregulierung, bestehend aus einer traktorgebundenen Hacke (mit Kamera zur Reihenerkennung und Verschieberahmen) und zusätzlicher Handhacke verglichen. Bewertet wurde (a) der Erfolg der Unkrautregulierung, (b) der Rübenertrag und (c) der Verfahrensaufwand für die mechanischen Pflegearbeiten. Die (a) Unkrautregulierung, die rein mit dem Feldroboter erfolgte, schnitt signifikant schlechter ab als die Unkrautregulierung mit traktorgebundener Hacke und Handhackstunden. Jedoch gab es hinsichtlich der (b) Ertragshöhe der Rüben wie auch des Zuckerertrags keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Bei ansonsten ähnlichem (c) Verfahrensaufwand konnten durchschnittlich 144 Handhackstunden pro ha durch eine roboter-basierte Unkrautregulierung eingespart werden.

Keywords: Agrarrobotik, Unkrautregulierung, Hacken, RTK-GNSS, Zuckerrüben, Digitalisierung

1 Einleitung

Die mechanische Unkrautregulierung gewinnt im Pflanzenbau wieder zunehmend an Bedeutung. Gründe hierfür sind ein wachsender Markt für Bioprodukte, aber auch gesetzliche Anwendungsrestriktionen und Resistenzen bei Herbiziden im konventionellen Landbau. Mechanische Verfahren sind jedoch meist kostenintensiv und mit viel Handarbeit verbunden, was die Verfahrenswirtschaftlichkeit negativ beeinflusst [He18].

Autonom fahrende und arbeitende Feldroboter zur mechanischen Unkrautregulierung können ein vielversprechendes Konzept darstellen, um dieser Problematik zu begegnen. Sie können abgehsehen vom Zeitbedarf für Initialisierung und Wartung ohne menschliches Zutun ihre Arbeit verrichten. Aus der Unabhängigkeit von einem Bediener vor Ort ergeben sich auf diese Weise offensichtliche Vorteile:

Es werden beispielsweise ausgedehnte und unterbrechungsfreie Einsatzzeiten ermöglicht, da Roboter – anders als Menschen – unabhängig von sozialen und körperlichen Bedürfnissen arbeiten können. Daraus ergibt sich ebenso eine bessere Skalierbarkeit der Geräte auf die geplante Einsatzfläche, weil diese nicht von der Anzahl an Fahrern abhängt [He18].

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Arbeitsbereich Digitalisierung, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf a.d. Rott, stefan.kopfinger@lfl.bayern.de, beat.vinzent@lfl.bayern.de

Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass auch autonome Feldroboter eine gewisse menschliche Betreuung (Rüstzeiten) z. B. beim Transport zum Feld, bei der Pfadplanung oder bei der Einstellung der Werkzeuge benötigen.

2 Problemstellung

Aktuell liegen keine wissenschaftlichen Studien vor, welche am Markt verfügbare autonom arbeitende Technik zur Unkrautregulierung hinsichtlich Regulierungserfolg, Ertragswirkung sowie arbeitswirtschaftlichen Aspekten für landwirtschaftliche Kulturen erproben und bewerten. Die wissenschaftliche Literatur [Fe14, La16, MLP15] bezieht sich in diesem Bereich in der Regel auf gartenbauliche Kulturen, da diese Technologien ursprünglich für den Feldgemüsebau entwickelt wurden. Aus diesem Grund herrscht noch Unsicherheit, inwiefern autonome Hackroboter in Kulturen wie der Zuckerrübe funktionssicher und wirtschaftlich eingesetzt werden können [He18].

Zur Klärung dieser Aspekte wurde ein marktverfügbarer autonomer Feldroboter zur Erprobung und Bewertung ausgewählt: Der autonome Sä- und Hackroboter Farmdroid FD20 soll hinsichtlich seines Vermögens zur Unkrautbekämpfung und der Ertragswirkung auf die Kultur sowie hinsichtlich arbeitswirtschaftlicher Aspekte für landwirtschaftliche Kulturen erprobt und bewertet werden.

3 Methode

In einem Feldversuch wurde im Jahr 2020 der Rübenanbau mithilfe des genannten Roboters mit einer herkömmlichen Bewirtschaftungsvariante (im Folgenden „Vergleichsstandard“ genannt) verglichen und bewertet. Da der Farmdroid FD20 als Komplettlösung zur Aussaat und Pflege der Rüben konzipiert ist, wurden die Vergleichsvarianten als verschiedene Systemansätze insbesondere zur Aussaat und Unkrautregulierung betrachtet. Die Vergleichsparameter waren dabei die Verunkrautung der Parzellen, der Rübenertrag sowie der Zuckergehalt der Rüben und der Verfahrensaufwand zur Unkrautregulierung.

Der randomisierte Streifenversuch umfasste ursprünglich drei Varianten. Eine Variante mit gepflanzten Rüben wurde jedoch aus technischen Gründen nicht zu Ende geführt. Die verbliebenen beiden vierfach wiederholten Varianten wurden ausgewertet. Es wurden Parzellenstreifen mit je 6 m x 200 m angelegt. Pro Parzelle wurden 12 Reihen Zuckerrüben mit 50 cm Reihenabstand und 18 cm Säabstand in der Reihe gesät (angestrebte Bestandsdichte von ca. 111.000 Pflanzen/ha). Aufgrund der Vorfrucht Körnermais und der allgemein sommerungslastigen Fruchtfolge ist der Unkrautdruck auf der Versuchsfläche vor allem für ein ökologisches Betriebssystem als sehr hoch zu bewerten. Die Bearbeitungsschritte der Varianten sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Variante	Farmdroid	Vergleichsstandard
Aussaat	Farmdroid FD20	Einzelkorndrille
Unkrautregulierung	Zwischen und in den Reihen: Farmdroid FD20	• Zwischen den Reihen: Traktorgebundene Hacke mit Kamera zur Reihenerkennung und Verschieberahmen + Fingerhacke • In den Reihen: Handarbeitskräfte mit Handhacke

Tab. 1: Übersicht der Bearbeitungsschritte der Varianten Farmdroid FD20 und Vergleichsstandard

(a) Messung des Unkrautregulierungserfolgs: Die Verunkrautung wurde durch eine Unkrautbonitur am 23.07.2020 bestimmt. Hierbei wurden pro Parzelle in 6 randomisierten Stichproben die Beikräuter auf jeweils 1 m² gezählt.

(b) Messung der Ertragswirkung: Für die Bestimmung des Ertrags wurden pro Parzelle 3 Stichproben mit je 7 m einer Reihe geerntet. Es erfolgte wie bereits bei der Unkrautbonitur eine Gleichverteilung über die gesamte Streifenlänge. Um Randeffekte zu vermeiden, wurde die Merkmalserfassung in der Mitte der jeweiligen Streifen vorgenommen. Die Stichproben wurden anschließend im Labor ausgewertet. Gemessen wurden das Gewicht und der Zuckergehalt der Stichproben.

(c) Messung des Verfahrensaufwands: Zur Bestimmung des Verfahrensaufwands für die mechanische Unkrautregulierung wurden die Arbeitsgeschwindigkeit der Maschinen und die menschlichen Arbeitsstunden (Rüstzeiten, Maschinenbedienung, Handarbeit) der verschiedenen Bearbeitungsschritte betrachtet. Der Fokus lag hier auf der Handarbeitszeit für die mechanische Unkrautregulierung im Vergleichsstandard, da hier das höchste Einsparpotenzial erwartet wurde.

4 Ergebnisse

(a) Unkrautregulierungserfolg: Die Unkrautbonitur ergab einen Mittelwert von 12,91 (*SD* = 6,09) Unkrautpflanzen pro m² in den rein mit dem Farmdroid FD20 bearbeiteten Parzellen. In den standortüblich bearbeiteten Flächen (Vergleichsstandard) ergab sich ein Mittelwert von 6,79 (*SD* = 3,04) Unkräutern pro m². Der Unterschied ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

Ein Mann-Whitney-U-Test wurde berechnet, um zu überprüfen, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Varianten gab. In der Farmdroid-Variante wurden signifikant mehr Unkräuter ermittelt als im Vergleichsstandard ($U = 107.50$, $Z = -3.602$, $p < .001$).

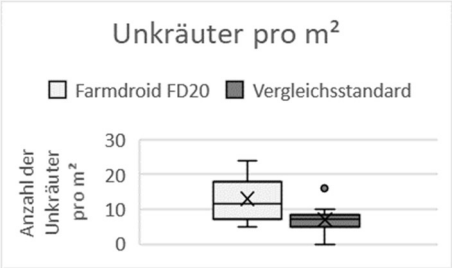


Abb. 1: Anzahl der Unkräuter der Varianten Farmdroid FD20 und Vergleichsstandard

(b) Ertrag: Zur Messung des Ertrags wurden das Rübengewicht in dt/ha sowie der Zuckergehalt in % und der daraus resultierende Zuckerertrag in dt/ha ermittelt. Tabelle 2 zeigt den Vergleich zwischen Farmdroid und konventioneller Bearbeitung.

	Rübengewicht (dt/ha)	**Zuckergehalt (%)**	**Zuckerertrag (dt/ha)**
Farmdroid FD20	*M* = 769,5 *SD*=64,5	*M* = 14,8 *SD* = 0,4	*M* = 113,6 *SD* = 10,8
Vergleichs-standard	*M* = 816,2 *SD* = 82,1	*M* = 14,5 *SD* = 0,1	*M* = 118,5 *SD* = 11,7

Tab. 2: Ertragsdaten der Bewirtschaftung mit dem Farmdroid und dem Vergleichsstandard

Zwischen der Bearbeitung mit dem Farmdroid und dem Vergleichsstandard der Bearbeitung gab es keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Rübenertrages in dt/ha ($U = 6.00$, $Z = -.577$, $p = .564$), des Zuckerertrages in dt/ha ($U = 5.00$, $Z = -.866$, $p = .386$), sowie im Zuckergehalt der Rüben in % ($U = 4.00$, $Z = -1.169$, $p = .243$).

(c) Verfahrensaufwand der Unkrautregulierung:

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Farmdroid FD20: Säen mit dem Farmdroid FD20, Durchschnittsgeschwindigkeit mit Wenden 0,6 km/h, Arbeitsbreite 3m, Zeitansatz ca. 5,5 h/ha. Der Farmdroid hackte zweimal blind, dreimal zwischen und in den Reihen und einmal nur zwischen den Reihen. Die durchschnittliche Arbeitszeit betrug hier ebenso ca. 5,5 h/ ha. Die Feldgrenzen mussten einmalig eingemessen werden. Der Aufwand zum Einstellen der Werkzeuge ist ähnlich zum Aufwand zur Einstellung der Werkzeuge einer traktorgebundenen Hacke. Für den Straßentransport muss der Roboter auf einen Tieflader verladen werden.
- Vergleichsstandard: Säen mit einer Einzelkorndrille, Durchschnittsgeschwindigkeit mit Wenden ca. 5 km/h, Arbeitsbreite 6 m, Arbeitszeitbedarf ca. 0,3 h/ha. Es wurde viermal mit der traktorgebundenen Hacke mit einer Arbeitsbreite von 6 m gehackt.

Hier wurde ebenso etwa 0,3 h pro ha benötigt. Außerdem wurde in den Reihen zweimal mit Handhacken gearbeitet. Hier wurden je Durchgang ca. 72 h pro ha benötigt. Insgesamt lag die Handarbeitszeit bei 144 h/ha.

5 Diskussion

Bei der Unkrautbonitur wurde fast die doppelte Anzahl an Unkräutern in den robotisch bearbeiteten Parzellen festgestellt. Für diesen Umstand gibt es mehrere mögliche Gründe:

Die Ablagekoordinaten des Saatguts werden mit dem Hackwerkzeug umfahren. Hierbei wird ein einstellbarer Sicherheitsabstand von meist 2-4 cm vor und nach der Position des Saatguts eingehalten, um eine Sicherheitszone zu schaffen (Vermeiden von Verschütten und Pflanzenbeschädigungen). Unkräuter, welche sich innerhalb dieser Sicherheitszone befinden, werden deshalb nicht erfasst. Handarbeitskräfte hingegen sind in der Lage, auch sehr nah an einer Rübenpflanze wachsende Unkräuter zu detektieren und gezielt aushacken.

Ebenso besitzt der Farmdroid FD20 mit 800 W eine geringe Antriebsleistung und eine Arbeitsgeschwindigkeit von unter 1 km/h. Das System wird rein über Solarzellen mit insgesamt 1,6 kW Peak-Leistung mit Energie versorgt und hat infolgedessen relativ filigrane Hackwerkzeuge. Größere Unkräuter oder Wurzelunkräuter können somit unter Umständen nicht mit ausreichender Kraft abgeschnitten oder entwurzelt werden.

Durch die langsame Arbeitsgeschwindigkeit hat der Roboter auch eine deutlich geringere Flächenleistung gegenüber traktorgebundenen Geräten. In Jahren mit geringen möglichen Feldarbeitstagen können vor allem ausdauernde Unkräuter dem System davonwachsen. Berücksichtigt werden muss auch der organisatorische Aufwand, der dadurch entsteht, dass der Roboter aufgrund seiner Breite von knapp 3,7 m nur mit einem Tieflader über öffentliche Straßen bewegt werden kann. Somit entsteht eine leicht erhöhte Rüstzeit im Vergleich zu einer traktorgebundenen Hacke.

Auf der anderen Seite entstand durch die zweimalige Bearbeitung mit der Handhacke mit insgesamt 144 h pro ha eine beachtliche Humanarbeitszeit in der Vergleichsvariante, die in der Robotikvariante eingespart wurde. Der finanzielle Vorteil dieser Einsparung ist hoch, wobei hier noch nicht einmal ein Totalausfall von Handhackkräften berücksichtigt wurde. Für den Einsatz der traktorgebundenen Hacke wurde ebenfalls – wenn auch im weit geringeren Umfang – Humanarbeitszeit benötigt, welche in der Robotikvariante eingespart wurde. Dazu kamen noch Kosten für Treibstoff und Verschleiß. Da der Roboter seine Energie selbst erzeugt und der Werkzeugverschleiß durch die geringe Arbeitsgeschwindigkeit minimal ist, sind hier auch die nutzungsabhängigen Kosten verschwindend gering.

Der Ertrag der rein durch den Feldroboter bearbeiteten Variante unterschied sich in den vorliegenden Untersuchungen nicht signifikant von der Landwirtvariante als

Vergleichsstandard. Dies ist erstaunlich, da die Bodenbedingungen bei der Rübenaussaat sehr trocken waren. Trotzdem gelang es in beiden Varianten, einen gleichmäßigen Rübenbestand ohne größere Fehlstellen zu etablieren. Allerdings muss beachtet werden, dass die Verunkrautung (obwohl als Spätverunkrautung hier nicht ertragsrelevant) der rein robotisch bearbeiteten Flächen verglichen mit dem Vergleichsstandard fast doppelt so hoch war. Die hohe Verunkrautung kann die Ernte und Verarbeitung der Rüben erschweren und zu Qualitätsabzügen führen, sollte die Spätverunkrautung nicht mit Sichelmähern oder Doppelmessermähbalken reguliert werden.

Ebenso begünstigt ein Aussamen von Unkräutern in der Robotikvariante eine Erhöhung des Samenpotenzials im Boden, was in engen Fruchtfolgen einen erhöhten Unkrautdruck und damit einhergehende Ertrags- und Qualitätsverluste in den Folgejahren begünstigen kann. Allerdings kann kontrovers diskutiert werden, für welche Anbaubetriebe dieses Szenario tatsächlich Bedeutung hat.

Für zukünftige Forschungsvorhaben könnte eine kombinierte Unkrautregulierung aus Farmdroid FD20 und weiteren Unkrautregulierungsverfahren wie Striegel oder Handhacke – jedoch mit reduzierten Arbeitsstunden pro ha – eine sinnvolle Strategie darstellen, um die Verunkrautung weiter zu reduzieren. Eine Handarbeitskraft, die auf die Bedienung des Roboters geschult ist und Managementaufgaben hinsichtlich des Roboters übernimmt, könnte außerdem noch weitere arbeitswirtschaftliche Vorteile bringen.

Literaturverzeichnis

[Fe14] Fennimore, S.A. et.al.: Evaluation and economics of a rotating cultivator in Bok Choy, Celery, Lettuce, and Radicchio. Weed Technology, 28 (1), S. 176-188, 2014.

[He18] Heuser, S. et.al: Automatisierte mechanische Unkrautregulierung. In: (Ruckelshausen, A et. al., Hrsg.), 38. GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 99-102, 2018.

[La16] Lati et.al: Intra-Row Weed Removal in Broccoli and Transplanted Lettuce with an Intelligent Cultivator. Weed Technology 30(3): S. 655-663, 2016.

[MLP15] Melander, B.; Lattanzi, B.; Pannacci, E.: Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. Crop Protection 72, S. 1-8, 2015.

Wahrgenommene und tatsächliche Nutzungsintensität von integrierten Smartphone-Applikationen für das Herdenmanagement auf rinderhaltenden Betrieben

Miriam Kramer [1], Vivien Reinhold[1], Caroline Firmenich[1], Laura Schmitz[1],
Nicole Tücking[1], Larissa Verfürth[1], Marc Boelhauve[1] und Marcus Mergenthaler[1]

Abstract: Im zunehmenden Maße finden Smartphone-Apps Verwendung im Management von Milchviehherden, um die größer werdende Datenmenge aufzubereiten und damit Arbeitsprozesse zu erleichtern. Wenn die Nützlichkeit einer Herdenmanagement-App erkannt und sie im Betriebsalltag implementiert wurde, stellt sich die Frage, wie die Nutzungsintensität konkret aussieht. In einer Teilstudie im Projekt *Digitale Kuh 3.0* wurde dies anhand der Zusammenführung zweier verschiedener Datenquellen für eine Pilotstichprobe untersucht. Betrachtet wurde die objektiv messbare Nutzungsintensität, anhand von getätigten Eingaben aus der Analyse einer Datenbankabfrage, im Vergleich zur subjektiven Nutzungsintensität, erfragt über Einschätzungen aus Interviews mit Anwender:innen der Herdenmanagement-App *FokusMobil* vom Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen. Die Studie ergab, dass die Eingabenanzahl als alleiniger Indikator für die Nutzungsintensität nicht ausreichend ist, da die verschiedenen App-Bereiche vielfach zur Einsicht herangezogen werden, wozu bisher auf objektiver Ebene noch keine Daten vorliegen. Zur Steigerung der Nutzungsintensität der App als valide Entscheidungshilfe sollte der Mehrwert der Eingaben in der Weiterentwicklung stärker forciert werden.

Keywords: Herdenmanagement, Milchkühe, Smartphone-App, Nutzungsintensität, mobile Datenerfassung, mobile Datenverfügbarkeit

1 Einleitung

Smartphone-Applikationen, die geschäftliche Arbeitsprozesse erleichtern – sogenannte Business-Apps – gewinnen weltweit zunehmend an Bedeutung [Po20]. In verschiedenen Anwendungsgebieten sind Apps auch aus dem Alltag auf Milchviehbetrieben nicht mehr wegzudenken. Durch die gezielte Zusammenführung und Auswertung des stetig wachsenden Datenpools sollen diese zu einer konkreten Hilfe für die Managemententscheidungen ihrer Anwendenden werden. Mit der fortschreitenden Entwicklung digitaler Technologien steigt die Investitionsbereitschaft in der milchviehhaltenden Landwirtschaft gleichermaßen [La18]. Einflüsse auf die grundsätzliche Adoption am Beispiel von Smartphone-Apps für das Herdenmanagement wurden bereits anhand von Befragungen untersucht [vgl. auch MBM19, Sc19]. Weniger Betrachtung hat bisher jedoch der Aspekt der Nutzungsintensität

[1] Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, kramer.miriam@fh-swf.de; vivienreinhold@aol.com; firme-nich.caroline@fh-swf.de; schmitz.laura@fh-swf.de; tuecking.nicole@fh-swf.de; verfuerth.larissa@fh-swf.de; boelhauve.marc@fh-swf.de; mergenthaler.marcus@fh-swf.de

gefunden. Die Einsicht in Zucht- und Leistungsdaten als Hilfestellung kann als Nutzung gesehen werden. Auch eine ausschließliche Verwendung zur Dateneingabe für die Dokumentation der alltäglichen Arbeit ist ein Teilaspekt einer App-Nutzung. Eine hohe App-Nutzungsintensität besteht aus einer Kombination von Nutzungshäufigkeit und Nutzungstiefe differenziert nach Dateneinsicht und -eingabe. Eine subjektiv als hoch oder höher werdende wahrgenommene Nutzungsintensität von digitalen Diensten allgemein wird meist mit der zunehmenden persönlichen Digitalisierung im Alltag assoziiert [vgl. auch Te18]. Sie kann als ein Indikator für empfundene Nützlichkeit verstanden werden, die für die langfristige Nutzungsloyalität unabdingbar ist. Eine objektiv hohe Nutzungsintensität ist Voraussetzung für die Möglichkeit vertiefender Datenauswertungen und damit einhergehender Steigerung der Nützlichkeit der App [Kr20]. Ziel der vorliegenden Teilstudie ist es, mittels einer Pilotstichprobe zu untersuchen, wie sich die wahrgenommene Nutzungsintensität einer Herdenmanagement-App (HM-App) von der objektiv messbaren Nutzungsintensität anhand von tatsächlich getätigten Eingaben unterscheidet. Ferner gilt es zu ermitteln, für was die HM-App stattdessen eingesetzt wird, wenn sie nicht zur Datenerfassung von Gesundheits- und Managementparametern genutzt wird. Die Untersuchung wird exemplarisch anhand der HM-App *FokusMobil* des Landeskontrollverbandes Nordrhein-Westfalen (LKV NRW) durchgeführt.

2 Methodisches Vorgehen

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei Datensätze aus verschiedenen Quellen miteinander verknüpft. Zum einen wurden im Frühjahr 2020 mit 16 Milchviehhaltenden (3 Frauen und 13 Männer) vertiefende Interviews zur Nutzungsintensität der Smartphone-App *FokusMobil* durchgeführt. Alle Befragten nahmen im Vorfeld unabhängig von ihrem persönlichen Nutzungsbeginn an einer Einführungsveranstaltung für die App teil. Daraufhin wurden sie im Abstand von vier Wochen auf freiwilliger Basis erneut kontaktiert und interviewt. Hier bot sich ein Face-to-Face-Interview mit einem standardisierten Fragebogen mit quantitativen und qualitativen Segmenten an, in dem alle Vorteile der direkten Gesprächssituation genutzt und der Komplexität der Nutzungsintensität Rechnung getragen werden konnte [vgl. auch MS19]. Im Verlauf dieser Befragung wurden die Partizipierenden u.a. nach ihrer Einschätzung der Nutzungshäufigkeiten verschiedener App-Bereiche anhand einer fünfstufigen Skala gefragt. Die zutreffende Frequenz war dabei aus einem Spektrum von 1 – *Häufig*, über 2 – *Oft* und 3 – *Ab und zu*, bis hin zu 4 – *Selten* und 5 – *Gar nicht* auszuwählen [Re20]. Um diese subjektiv wahrgenommene Nutzungsintensität anhand objektiver Daten zu verifizieren, wurde zum anderen eine weitere Datenquelle herangezogen. Über eine speziell durchgeführte Datenbankabfrage beim Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen kann der Umfang der tatsächlich getätigten Eingaben über die App seit Nutzungsbeginn bis zum Befragungszeitpunkt für die entsprechenden Betriebe ermittelt werden. Die Eingaben in der Datenbank beinhalten Einzeltierdaten, managementbezogenen Daten, Meldungen beim Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere sowie weitere Meldungen. Der konkreten Ermittlung und Verarbeitung der

App-Nutzungszeiten stehen technische Einschränkungen und Datenschutzaspekte entgegen. Als Schwerpunkt für diese Analyse wurde die Gesundheitsdatenerfassung und die Verwendung von Managementhilfen in der App gewählt. Bei der Zusammenführung von subjektiver und objektiver Nutzungsintensität geht es nicht um eine wertende Beurteilung der Interviewaussagen, sondern um die Ermittlung möglicher Differenzen zwischen den beiden Datengrundlagen und deren Ursprung. Es stellte sich die Frage, wie die App genutzt wird und ob die Zahl der Eingaben einen validen Indikator für die Bewertung der Nutzungsintensität der User darstellt.

Im Folgenden sollen in den Bereichen Managementbestandteile und Gesundheitsdaten die subjektiven Einschätzungen der Befragten mit der Anzahl der Eingaben in den verschiedenen Kategorien in Beziehung gesetzt werden. Da die Zeitspanne in Monaten seit der ersten Anmeldung sehr stark variierte (14,0 ± 6,6 Monate), werden die Eingaben zusätzlich je Nutzungsmonat betrachtet. Zur Überprüfung der Validität der Eingabenanzahl als Indikator für die Nutzungsintensität einer HM-App werden anhand dieser Hypothesen aufgestellt. Unterschieden wird dabei, ob die User in dem jeweiligen App-Bereich einen Experienced-User (überdurchschnittlich viele Eingaben im Bezug zur Stichprobe) oder einen Basic-User (unterdurchschnittlich viele Eingaben) darstellt, bzw. ob bestimmte Bereiche gar nicht genutzt werden. Diese Hypothesen können dann mit den subjektiven Einschätzungen zur Nutzungshäufigkeit der verschiedenen Bereiche verglichen werden. Es wird angenommen, dass eine Nutzungshäufigkeit von *Häufig* bis *Oft* einem Experienced-User gleichzusetzen ist und eine Häufigkeit von *Ab und zu* mit einem Basic-User. Entsprechend würde die Aussage *Selten* bis *Gar nicht* eine Nicht-Nutzung implizieren (siehe Tab.1).

	Objektiv durch Auswertung der Datenbank	**Subjektiv durch Abfrage im Interview**
Nicht-User	keine Dateneingaben	Häufigkeit 4 – *Selten* // 5 – *Nie*
Basic-User	geringe/unterdurchschnittliche Dateneingabe	Häufigkeit 3 – *Ab und zu*
Experienced-User	Häufige/überdurchschnittliche Dateneingabe	Häufigkeit 2 – *Oft* // 1 – *Häufig*

Tab. 1: Auswertungsschema für die Zuordnung zur Nicht-, Basic- oder Experienced-User-Gruppe auf objektiver und subjektiver Datenbasis

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Nutzung der Managementbestandteile von *FokusMobil*

Bei der Auswertung der Eingaben mit Management-Charakter (z. B. Dokumentation des Trockenstellens, Einpflegen eines Trächtigkeitsuntersuchungsergebnisses) fällt auf (siehe Tab. 2), dass ein Großteil der Betriebe aufgrund der Datengrundlage zu den Basic- und

Nicht-Nutzenden der Managementbestandteile gerechnet werden muss, da keine oder so gut wie keine Eingaben in diesem Bereich zu verzeichnen sind.

	Nicht-User	**Basic-User**	**Experienced-U.**	**Gesamt**
Eingaben Management/Monat	0,00±0,00 (n = 3)	0,56±0,67 (n = 8)	10,84±5,16 (n = 5)	3,67±5,69 (n = 16)
Eingaben Gesundheit/Monat	0,00±0,00 (n = 5)	0,25±0,17 (n = 7)	5,00±3,69 (n = 4)	1,36±2,73 (n = 16)

Tab. 2: Durchschnittliche Anzahl ($\bar{x}$±St.Abw.) der Eingaben pro Monat in den Bereichen Management und Gesundheit über *FokusMobil* nach Nutzergruppen (Nicht-User, Basic-User und Experienced-User)

Der Abstand zu den Experienced-Usern ist sehr groß. Bei der Betrachtung der Kontingenztabelle von subjektiven und objektiven Häufigkeiten fällt auf, dass sowohl drei der objektiven Experienced-User als auch drei Basic-User auf Datenbankbasis nur wenige oder fast gar keine der Managementbestandteile nutzen (siehe Tab. 3). Hier scheinen die Eingaben direkt aus der alltäglichen Arbeit zu resultieren und weniger aus der Nutzung der App als Managementhilfe. Auch die Überschätzung der Nutzungsintensität ist zu beobachten. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus einer vorherigen Untersuchung, dass es ebenfalls Milchviehhaltende gibt, die bei der Datendokumentation etablierte, analoge Systeme präferieren [Kr20]. Die Korrelation zwischen der Anzahl der monatlichen Eingaben und der Einschätzung der subjektiven Nutzungsintensität liegt für die Managementbestandteile bei 0,39. Es zeigt sich, dass die Definition der Nutzung hier vielschichtig ist und die Anzahl der Eingaben als alleiniger Nutzungsindikator nicht ausreicht.

	Subjektiver Nicht-User	**Subjektiver Basic-User**	**Subjektiver Experienced-User**	**Summe**
Objektiver Nicht-User	M: 2 G: 5	M: 1 G: 0	M: 0 G: 0	M: 3 G: 5
Objektiver Basic-User	M: 3 G: 2	M: 5 G: 2	M: 0 G: 3	M: 8 G: 7
Objektiver Experienced-User	M: 1 G.: 0	M: 2 G: 1	M: 2 G: 3	M: 5 G: 4
Summe	M: 6 G: 7	M: 8 G: 3	M: 2 G: 6	M: 16 G: 16

Tab. 3: Kontingenztabelle anhand absoluter Häufigkeiten von subjektiver und objektiver Nutzungsintensität für Managementbestandteile (M) und Gesundheitsdaten (G)

3.2 Nutzung der Gesundheitsdatendokumentation über *FokusMobil*

Die Analyse der Gesundheitsdateneingabe über *FokusMobil* weist darauf hin, dass dort im Mittel sehr viel weniger Eingaben gemacht werden als im Managementbereich (siehe

Tab. 2). Jedoch ist auch hier eine große Streuung zu erkennen. Eine Befragung von Michels et al. ergab hierzu, dass zur Adoption der Gesundheitsfeatures einer HM-App deren Mehrwert bewusst sein muss [MBM19]. Möglicherweise liegt die Nutzungsvarianz hier im fehlenden Empfinden eines positiven Effekts auf das eigene Management begründet. Aus der direkten Gegenüberstellung von subjektiver und objektiver Nutzungsintensität (siehe Tab. 3) resultiert größtenteils Übereinstimmung mit einer Korrelation von 0,57. Drei Teilnehmende der Basic-User-Gruppe würden sich subjektiv jedoch eher höher einschätzen. Hier könnte es entweder zu sozial erwünschtem Antwortverhalten in den Interviews gekommen sein [vgl. auch Sc13] oder Dateneinsicht ohne Dateneingabe wird von den Befragten auch als häufige Nutzung betrachtet, womit die Nutzungsdefinition der Gesundheitsfeatures eine andere wäre. Gleichwohl zeigt sich die Anzahl der Eingaben in diesem Bereich als annährend geeigneter Indikator für die Nutzungsintensität.

4 Schlussfolgerung

Gängige digitale Tools für das Herdenmanagement auf Milchviehbetrieben bieten neben zahlreichen Features für die Bestandsführung auch im Bereich der Tiergesundheit meist umfassende Möglichkeiten. Werden alle Bestandteile konsequent genutzt und über mobile oder stationäre Erfassung mit Daten versorgt, können sie einen erheblichen Beitrag zur Verbesserung von Tierwohl, Wirtschaftlichkeit und Arbeitsqualität auf Milchviehbetrieben leisten [vgl. auch St11]. Die vorliegende Untersuchung ergab, dass in der Pilotstichprobe manche Funktionsbereiche von *FokusMobil* wenig oder nicht genutzt werden, da dort nur minimale oder keine Dateneingabe erfolgt. Auf subjektiver Ebene ist jedoch von einer Nutzung die Rede, die keine Eingaben benötigt, sondern auf der Einsicht von automatisiert erstellten Daten in der App beruht. Demzufolge erweist sich die Anzahl der Eingaben als nicht ausreichender Indikator für die subjektiv wahrgenommene Nutzungsintensität. Aus objektiver Sicht gibt es bisher keine Grundlage aus der Datenbank, die eine reine Nutzung zur Einsicht verifizieren könnte, da dies sowohl die analytischen Grenzen der App als auch datenschutzrechtliche Aspekte zur Auswertung des Nutzerverhaltens und zur Erfassung von personenbezogenen Daten überschreitet. Aktuell wird im Projekt *Digitale Kuh 3.0* an einem Lösungsansatz gearbeitet, wie aufgrund von händisch ermittelten Anmeldezeiten in der App individuelle Nutzerprofile für die Projektteilnehmenden erstellt werden können. Anhand derer wäre im Vergleich zu den getätigten Eingaben eine Nutzung zur Dateneinsicht festzumachen. Auch bei weiteren Befragungen mit größeren Stichproben sollte der Unterschied zwischen Verwendung zur Dateneinsicht und zur Dateneingabe stärker forciert werden, um auch auf subjektiver Ebene die Datenbasis zu konkretisieren. Die Definition der Nutzungsintensität und damit auch der Nutzungstiefe von *FokusMobil* erweist sich als sehr komplex und abhängig von der Herangehensweise an das Managementtool. Durch beispielhafte Auswertungen und Weiterentwicklungen in den Gesundheitsfeatures sollte der Nutzen der eigenen Datenerfassungen vermehrt bewusstgemacht werden.

5 Danksagung

Die Daten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Digitale Kuh 3.0 – Entwicklung nutzerspezifischer Managementhilfen zur Verbesserung der Gesundheit sowie zur Optimierung tiergerechter Haltungssysteme von Milchkühen“ erhoben, welches vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen finanziert wird.

Literaturverzeichnis

[Kr20] Kramer, M. et.al.: Akzeptanz von integrierten Herdenmanagementprogrammen zum Gesundheitsmonitoring auf rinderhaltenden Betrieben am Beispiel einer Smartphone-Applikation. In (Gandorfer, M. et al., Hrsg.): Digitalisierung für Mensch, Tier und Umwelt. Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 145-150, 2020.

[La18] Landwirtschaftliche Rentenbank: Agrar Spezial „Digital Farming“ – Die Landwirtschaft im technologischen Wandel. Auszug aus dem Geschäftsbericht 2018 der Landwirtschaftlichen Rentenbank, 2018.

[MBM19] Michels, M.; Bonke, V.; Musshoff, O.: Understanding the adoption of smartphone apps in dairy herd management. Journal of Dairy Science, Vol. 102 No. 10, S. 3020-3027, 2019.

[MS19] Möhring, W.; Schlütz D.: Die Befragung in der Medien- und Kommunikationswissenschaft. Springer VS, Wiesbaden, 2019.

[Po20] Poleshova, A.: Entwicklung der App-Nutzung nach Kategorien weltweit im 1. Quartal 2020. Statista GmbH, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1114936/umfrage/anstieg-der-app-nutzung/#statisticContainer , Stand: 20.10.2020.

[Re20] Reinhold, V.: Akzeptanz und Nutzung einer Applikation für das Herdenmanagement von Milchvieh anhand des Beispiels FokusMobil. Masterarbeit Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest (unveröffentlicht).

[Sc13] Scholl, A.: Reaktivität im Forschungsprozess. In (Möhring, W. et al., Hrsg.): Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft. Springer VS, Wiesbaden, S. 79-99, 2013.

[Sc19] Schütz, K. et.al.: Akzeptanz eines Herdenmanagement-Programms für PC und Smartphone auf rinderhaltenden Betrieben. In (Meyer-Aurich, A. et al., Hrsg.): Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen. Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 239-244, 2019.

[St11] Stöcker, C. et.al.: Herdenmanagement: Hilfe vom Computer. DLG-Test Landwirschaft, 11, S. 26-29, 2011.

[Te18] Tesche, Y.: Digitale Nutzung in Deutschland 2018 – Abbildung der aktuellen digitalen Mediennutzung in Deutschland und Darstellung möglicher Trends, sowie Analyse des grundsätzlichen Verständnisses von Digitalisierung. Bundesverband Digitale Wirtschaft e.V., 2018.

Smart-Farming-Technologien auf Ackerbaubetrieben – wie beurteilen Landwirte den Weg zur „Landwirtschaft 4.0“

Jorrit Kühl[1], Yves Reckleben[1] und Holger Schulze[1]

Abstract: Digitalisierung verändert zunehmend auch die Landwirtschaft. Der Status quo der Ausgestaltung dieses Umbruchs in landwirtschaftlichen Unternehmen mit dem Betriebsschwerpunkt Ackerbau beinhaltet u.a. den Einsatz von Satellitentechnologie zur exakten Spurführung oder Pflanzenschutzmittelapplikation und einer digitalen Dokumentation. Mit dem Ziel, Hemmnisse und Hinderungsgründe an umfassenden Investitionen in Smart-Farming-Technologien darzustellen, wurden Auswertungsergebnisse von 30 (n = 30) qualitativen Tiefeninterviews mit Betriebsleitern*innen von Unternehmen mit dem Betriebsschwerpunkt Marktfruchtanbau verwendet. Die Ergebnisse sollen in Blickrichtung der Landtechnikentwicklung und -vermarktung Handlungsempfehlungen geben, wie künftig eine Adoption von Smart-Farming-Technologien erfolgreicher gestaltet werden kann.

Keywords: Smart-Farming-Technologien, Landwirtschaft 4.0, Digitalisierung, Adoption

1 Einleitung

Die Landwirtschaft erlebt gegenwärtig einen Transformationsprozess, ausgelöst durch den „Megatrend“ Digitalisierung. Die Kombination von Mechanik und Elektronik mit der darauffolgenden Integration des Global Positioning Systems (GPS) ermöglicht ortsbasierte Flächenbewirtschaftung in Echtzeit (Precision Farming). Die Nutzung dieser erhobenen Datenstrukturen durch Technologievernetzung, Datenmanagement und -analyse wird durch die Begriffe „Smart Farming“ oder „Landwirtschaft 4.0“ benannt. Dabei optimieren die Smart-Farming-Technologien (SFT) betriebsindividuell die Effizienz eingesetzter Produktionsfaktoren oder Betriebsmittel [Ho20]. Ein großes Problem stellt allerdings eine heterogene Ausprägung der Digitalisierung des Agrar- und Ernährungssektors dar [Do18]. Auf Ackerbaubetrieben werden aktuell hauptsächlich Precision-Farming-Technologien verwendet (z. B. Parallelfahrsysteme, digitale Dokumentationssoftware oder automatische Teilbreitenabschaltung bei Pflanzenschutzmittelapplikationen). SFT werden bisher auf den Betrieben kaum eingesetzt. Das Ziel der folgenden Studie ist daher, zu untersuchen, was landwirtschaftliche Unternehmer*innen daran hindert, in SFT zu investieren. Was beeinflusst eine Adoption und wie können Hemmnisse gelöst werden? Aus den Ergebnissen sollen Handlungsempfehlungen für die Landtechnikentwicklung und -vermarktung abgeleitet werden.

[1] Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld,
jorrit.kuehl@googlemail.com, yves.reckleben@fh-kiel.de, holger.schulze@fh-kiel.de

2 Stand der Forschung

Im Rahmen einer Literaturanalyse wurden 27 Quellen untersucht, um Einflussmerkmale auf Technologieadoptionen im Bereich Landtechnik zu identifizieren. Insgesamt konnten acht Kategorien von Einflussfaktoren identifiziert werden (u.a. sozio- und technoökonomische, sowie betriebliche Faktoren, vgl. in Tab. 1). Merkmale wie das Alter der Betriebsleiter*innen, die Betriebsgröße, die Anbaukulturen oder die Region des Betriebsstandortes sind hierbei häufig validierte Einflussfaktoren. Eine gegenseitige Abhängigkeit lässt sich ebenfalls erkennen, da beispielsweise das Alter der Betriebsleiter*innen mit der IT-Affinität zusammenhängt. Technologiespezifische Merkmale und das Vermarktungsumfeld hingegen wurden vernachlässigt. In Tab. 1 ist ein Auszug der Literaturanalyse dargestellt.

Land:	**Autor:**	**Jahr:**	**Stichproben-umfang:**	**Sozioökonomisch**	**Betrieblich**	**Markt/Politik**	**Infrastruktur**	**Informationsquellen**	**Wahrnehmung**	**Verhalten**	**technoökonomisch**
BE, DE, GB, GR, NL	[Ba19]	2019	971	+	+	+		+	+		+
IE	[Da19]	2019	32	+	+		+	+	+	+	+
DE, ES, FR, GB, GR, NL, RS	[Kn18]	2018	309	+	+	+		+	+		+
DE	[PT17]	2016	227	+	+			+	+		
…											
(+): Einfluss auf Adoptionsverhalten von SFT											

Tab. 1: Auszug der Literaturanalyse vorheriger Studien über das Adoptionsverhalten von Precision- und Smart-Farming-Technologien (eigene Darstellung)

3 Vorgehensweise und Methodik

Auf Basis der Ergebnisse der Literaturanalyse wurde das Technology Acceptance Model (TAM) nach DAVIS [Da89] angepasst (siehe Abb. 1). Ergänzend wurden hierbei die Bereiche „Vertrauen in Digitales“ und „wahrgenommenes Risiko in Digitales“ nach CHO [Ch06] eingefügt. Aus diesem transferierten Model für SFT wurde ein Frageleitfaden für qualitative Tiefeninterviews entwickelt. Im März 2020 wurden mit Betriebsleiter*innen von Ackerbaubetrieben aus Norddeutschland und dem westlichen Polen Interviews

(n = 30) durchgeführt. Es handelt sich um keine repräsentative Stichprobe (siehe Tab. 2), sondern mit durchschnittlich 700 ha (Median) eher um größere und zukunftsorientiertere Betriebe (nach dem Alter und der eigenen Erfolgsbeurteilung der Betriebsleiter*innen).

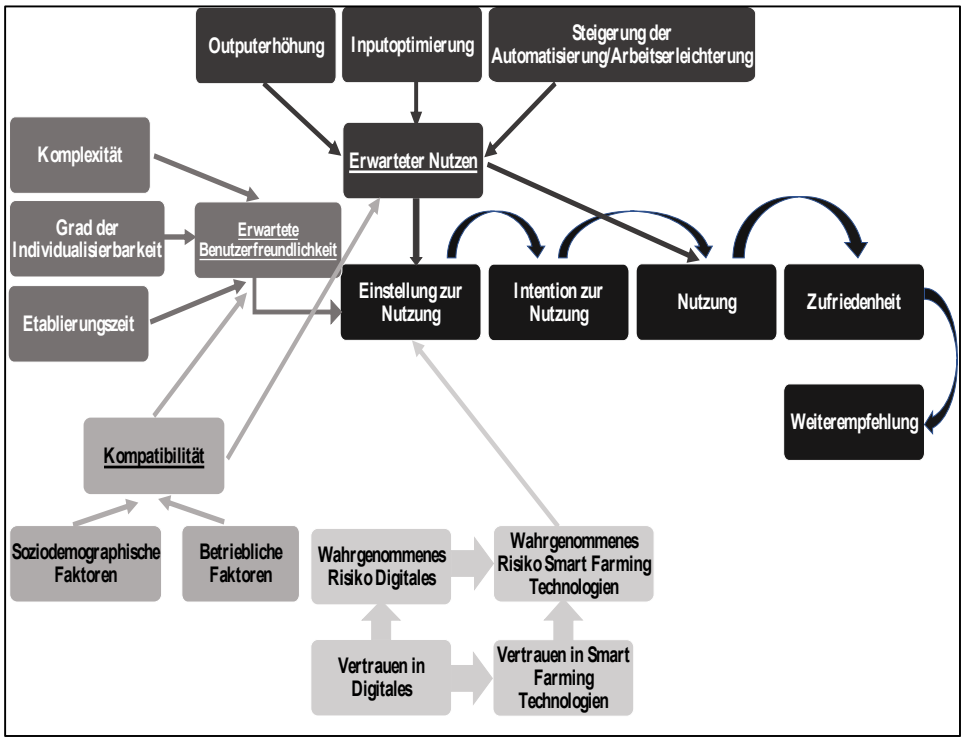


Abb. 1: Angepasstes Technology Acceptance Model für SFT auf Basis der Literaturanalyse (eigene Darstellung)

Alter (n=30)		
< 30 Jahre (n=9)	**30 – 45 (n=10)**	**> 45 Jahre (n=11)**
30 %	33 %	37 %
Betriebsgröße nach bewirtschafteter Ackerfläche in ha (n=30)		
< 500 ha (n=12)	**500 – 1000 ha (n=8)**	**> 1000 ha (n=10)**
40 %	27 %	33 %

Einschätzung des Betriebserfolges aus Sicht der Betriebsleiter*innen im Verhältnis zu allen landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland (n=30)			
Sehr viel weniger erfolgreich (n=2)	**Weniger erfolgreich (n=3)**	**Durchschnittlich erfolgreich (n=10)**	**Mehr erfolgreich (n=15)**
7 %	10 %	33 %	50 %

Tab. 2: Stichprobenbeschreibung der qualitativen Tiefeninterviews

4 Ergebnisse

High Level Adopter (n=7) - 33%	- Umfassende Nutzung von Smart Farming Technologien als Teil einer integrierten IT-Strategie - Charakterisierung: Zusammenführung und Auswertung von verschiedenen Datensätzen
Low Level Adopter (n=12) - 40%	- Nutzung einzelner Precision Farming Technologien als Insellösungen - Charakterisierung: Datenerfassung, allerdings kein Datenmanagement
Threshold Technology Adopter (n=11) - 37%	- Nutzung einzelner Precision Farming Technologien primär als Arbeitserleichterung - Charakterisierung: Automatisierung von Arbeitsabläufen und exaktere Ausbringung von Betriebsmitteln im Vordergrund

Abb. 2: Erklärung der eingeordneten Adoptergruppen (eigene Darstellung)

Zunächst wurden die Betriebe nach ihrer Technologieausstattung in drei Kategorien eingeteilt. In Abb. 2 sind die wichtigsten Charakteristika der Adoptergruppen dargestellt. Wie in den in Tab. 1 aufgezeigten Studien wurde auch hier ersichtlich, dass sozioökonomische und betriebliche Faktoren (z. B. Alter oder die Betriebsgröße) einen Einfluss auf die SFT-Adoption haben. Durch die Tiefeninterviews ist es möglich gewesen, die Begründung eines Einflusses herauszuarbeiten. Das Alter des Betriebsleiters, der Betriebsentwicklungsstand und die Betriebsgröße haben einen großen Einfluss auf andere Merkmale wie intertechnologische Kompatibilität, Markenimage des Herstellers und die bevorzugten Kaufeigenschaften einer SFT.

Die Kompatibilität einer gekauften SFT zu vorhandenen Technologien war mehr als der Hälfte aller Interviewpartner*innen wichtig, allerdings sahen vor allem jüngere Befragte unter 30 Jahren durch Kompatibilität eine verbesserte Bedienbarkeit und eine Senkung der Komplexität bei der Anwendung kombinierter Technologien. In Bezug auf das Markenimage empfanden 27 % der Threshold Technology Adopter keinen Bezug von Funktionalität einer SFT und dem Markenimage des Herstellers, wobei alle High Level Adopter dieses antworteten. Die Assoziation einer bewährten Marke mit positiven Erfahrungen gaben hingegen 73 % der Threshold Technology Adopter und keiner der High Level Adopter an. Während bei den bevorzugten Kaufeigenschaften einer SFT über 50 % der kleineren Betriebe unter 500 ha die Bedienbarkeit, den Stand der Technik und die Ausfallsicherheit angaben, war größeren Betrieben über 1000 ha die Datenplausibilität und der monetär erfassbare Mehrwert wichtig.

Ein unerwartetes Ergebnis der Befragungen zeigte sich in dem Bereich wahrgenommenes Risiko einer Investition. Im angepassten Technology Acceptance Model ausgedrückt durch Risiko in Digitales, antworteten 29 % der High Level Adopter als mögliches Risiko für eine Investition in SFT die fehlende Datenhoheit. Der Umgang mit hochsensiblen Betriebsdaten ist für die meisten Betriebsleiter*innen unproblematisch und es wird den

vorhandenen IT-Sicherheitskonzepten vertraut. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu Schleicher und Gandorfer [SG18].

5 Fazit

Die Verkaufsförderung fängt bei der Produktentwicklung an. Produktspezifische Eigenschaften können nur durch eine intensive Zusammenarbeit mit Landwirten weiterentwickelt werden [Bu13], um die anschließende Adoption von SFT zu fördern:

- Die Bedienbarkeit wurde, unabhängig von Alter und IT-Affinität, häufig genannt. Das User-Interface muss alle Bedienergruppen ansprechen und umfasst sowohl die Bedienlogik als auch die Menüstruktur. Ein Befragungsteilnehmer präferierte ein modulares Bediensystem mit Einsteiger- und Expertenmodus, in welchem entweder nur grundlegende Funktionen oder der vollständige Funktionsumfang sichtbar ist.
- Kompatibilität wurde von nahezu allen Befragungsteilnehmern als Funktionsmehrwert empfunden. Gleichzeitig berichtet ein Teil von negativen Erfahrungen mit ISOBUS. Die Etablierung von Plattformen wie DataConnect zeigt, dass die Landtechnikindustrie Lösungsansätze bietet [Ho19]. Die Herausforderung liegt darin, alle Maschinentypen und Kategorien einzubinden.
- Die Datenplausibilität war digital weiter entwickelten Betrieben wichtiger, da diese bei der Datenauswertung ein besonderes Augenmerk auf die Datenqualität haben. Gerade in Hinblick auf Ertragserfassung bei Mähdreschern gibt es mit der Zeitverzögerung und der Datenerfassung bei Feldblöcken unter der Schneidwerkbreite erhebliches Verbesserungspotenzial.
- Der Zeitaufwand zur Nutzung von SFT gestaltet sich in einigen Anwendungsbereichen durch Kalibrierungs- und Vorbereitungszeiten als zu hoch. Hier gilt es, diesem durch Automatisierungsprozesse entgegenzuwirken.

Als Bindeglied zwischen Landtechnikhersteller und den Landwirten steht der Landtechnikhändler. Für die Produktvermarktung gilt sowohl der Händler als auch die Landtechnikindustrie als beeinflussender Faktor:

- Das Bedürfnis nach einem monetär erfassbaren Mehrwert ist sehr ausgeprägt. Große und weiter entwickelte Betriebe äußerten häufiger einen Mangel an Informationen in diesem Bereich. Hier würden Best-Practice-Beispiele auf Basis von wissenschaftlichen Studien in Kooperation mit der Landtechnikindustrie den Praxisbezug herstellen und somit die Vorteile einer Investition auf den Betrieben besser veranschaulichen.

Im Bereich Schulungen sollte die Abgrenzung der Kompetenzen in der Ersteinsatzschulung durch die Produktspezialisten, dem „After Sale“ und den weitergehenden Schulungen klar geregelt werden, um durch modulare Strukturen jeden Anwender individuell zu erreichen.

Im Rahmen dieser qualitativen Studie wurde der Umgang und das Grundverständnis für SFT analysiert. Im nächsten Schritt sollten quantitative Studien erfolgen, um die Ergebnisse durch größere Stichproben zu validieren. Dabei sollte der Schwerpunkt insbesondere auf der Einbeziehung kleinerer Betriebe liegen, da diese häufig durch hohe Investitionskosten an einer Etablierung gehemmt werden.

Literaturverzeichnis

[Ba19] Barnes, A. et al.: Influencing factors and incentives on the intention to adopt precision agricultural technologies within arable farming systems. Environmental Science and Policy Nr. 93, S. 66 – 74, 2019.

[Bu13] Busse, M. et al.: Innovation mechanisms in German precision farming. In: Precision Agriculture Nr. 15, S. 403 – 426, 2013.

[Ch06] Cho, V.: A study of the roles of trust and risks in information-oriented online legal services using an integrated model. In: Information & Management Nr. 43, S. 502 – 520, 2006.

[Da19] Das, J. et al.: Views of Irish Farmers on Smart Farming Technologies: An Observational Study. AgriEngineering Nr, 1, Issue 2, S. 164 – 178, 2019.

[Da89] Davis, F.: Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. In: MIS Quarterly Nr. 13(3), S. 319 – 340, 1989.

[Do18] Doluschitz, R. et al.: Status quo der Digitalisierung in ausgewählten Organisationen des Agrar- und Ernährungssektors. In (Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Borchard, K., Hofacker, C., Loy, J.-P., Schwerdtfeger, R., Sundermeier, H.-H., Floto, H., Theuvsen, B., Hrsg.): Tagungsband zur 38. GIL-Jahrestagung – Digitale Marktplätze und Plattformen. Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, S. 63 – 66, 2018.

[Ho19] Hodson, E.: John Deere, CLAAS, CNH Industrial and 365FarmNet form DataConnect. John Deere Pressemitteilung vom 5.11.2019. John Deere, Olathe, https://www.deere.com/en/our-company/news-and-announcements/news-releases/2019/agriculture/2019nov05-dataconnect/, Stand: 28.10.2020.

[Ho20] Horstmann, J: Digitalisierung und Vernetzung – Landwirtschaft im Wandel. In: (Frerichs, L., Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S. 1 – 8, 2020.

[Kn18] Knierim, A. et al.: What drives adoption of smart farming technologies? Evidence from a cross-country study. In: Theme 4 – Smart technologies in farming and food systems. 13th European IFSA Symposium, Chania, Griechenland, 2018.

[PT17] Paustian, M., Theuvsen, L.: Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. In: Precision Agriculture Nr. 18, S. 701 – 716, 2017.

[SG18] Schleicher, S., Gandorfer, M.: Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In (Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Borchard, K., Hofacker, C., Loy, J.-P., Schwerdtfeger, R., Sundermeier, H.-H., Floto, H., Theuvsen, B., Hrsg.): Tagungsband zur 38. GIL-Jahrestagung – Digitale Marktplätze und Plattformen. Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, S. 203 – 206, 2018.

Low Power Wide Area Networks (LPWAN) für krisentaugliche Datenübertragung in landwirtschaftlichen Betrieben

Autarke Kommunikationssysteme für Anwendungen niedriger Bandbreite

Franz Kuntke [1], Marcel Sinn[1], Sebastian Linsner[1] und Christian Reuter[1]

Abstract: Zuverlässige IT-basierte Kommunikation in der Landwirtschaft wird immer wichtiger für den regulären Betriebsablauf. Sollte sich ein Landwirt beispielsweise während eines lokalen Krisenfalls, wie einem Ausfall des Mobilfunknetzes oder des Internetzugangs des Betriebs, auf dem Feld aufhalten, wird ein alternativer Kommunikationskanal benötigt, um weiterhin eine Verbindung zu IT-Komponenten und benötigten Daten herstellen zu können. Mit der zunehmenden Digitalisierung finden Low-Power-Wide-Area-Network (LPWAN)-Technologien immer häufiger Anwendung, beispielsweise durch den Aufbau von Sensornetzwerken. Die eingesetzten LPWAN-Technologien bieten dabei eine hohe Reichweite und sind größtenteils autark einsetzbar, erlauben jedoch keine klassische TCP/IP-Kommunikation. Im Rahmen dieser Arbeit wird experimentell eine populäre LPWAN-Technologie, namentlich LoRaWAN, durch AX.25 auf OSI-Schicht 2 (Data Link Layer) ergänzt, um Endgeräten eine TCP/IP-basierte Kommunikation über weite Strecken zu erlauben. Die Evaluation zeigt, dass klassische Anwendungen mit niedriger Bandbreite somit funktionsfähig sind und krisentaugliche Datenübertragung in landwirtschaftlichen Betrieben ermöglichen können.

Keywords: LoRa, IoT, Resilienz, Krisentauglichkeit, autarke Kommunikation

1 Einleitung

Durch die mit der Digitalisierung einhergehende Vernetzung verschiedenster Systeme und Akteure nimmt die Bedeutung von IT-basierter Kommunikation in der Landwirtschaft stetig zu. Parallel dazu ist die Landwirtschaft für die Nahrungsmittelproduktion essentiell und somit Teil der kritischen Infrastruktur (KRITIS) Ernährung. Entsprechend hoch sind die Anforderungen und Erwartungen an die eingesetzten Technologien [Ku20]. Sollte sich ein Landwirt beispielsweise während eines lokalen Krisenfalls, wie Ausfall des Mobilfunknetzes oder des betrieblichen Internetanschlusses, auf dem Feld aufhalten, kann ein alternativer Kommunikationskanal hilfreich sein, um weiterhin eine Verbindung zu

1 Technische Universität (TU) Darmstadt, Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), 64289 Darmstadt, kuntke@peasec.tu-darmstadt.de, https://orcid.org/0000-0002-7656-5919, sinnmarcel88@gmail.com, linsner@peasec.tu-darmstadt.de, reuter@peasec.tu-darmstadt.de, https://orcid.org/0000-0003-1920-038X

kritischen IT-Komponenten herstellen zu können. Lückenlose Dokumentation der Arbeitsschritte und die korrekte Anbindung der Maschinen an erforderliche Datenquellen ist wichtig, kritisch wird es jedoch vor allem im Hinblick auf die Vernetzung der Stallklimatisierung. Hierbei ist eine sichere Datenübertragung für korrektes Monitoring und zuverlässige Warnungen bei Fehlern für die Sicherheit der Tiere essentiell.

Um die Anforderungen für solch einen Kommunikationskanal abzuleiten, wird in Kapitel 2 die Domäne ausgehend von dem Trend des Internet of Things (IoT) beleuchtet. Dabei zeichnen sich LPWAN-Technologien als eine notwendige Schlüsseltechnologie ab, die durch den steigenden Einsatz von Lösungen aus dem Bereich IoT Aufschwung erhält. In Kapitel 3 wird ausgehend von einer Herstelleranalyse der Anwendungsfall motiviert, woraufhin in Kapitel 4 ein Konzept basierend auf LoRa (der unteren Schicht von LoRaWAN) vorgestellt wird, das als Brückentechnologie für herkömmliche Technologien dienen soll. Kapitel 5 evaluiert den Ansatz mit Hilfe eines physischen Testbetts auf Basis generischer Netzwerkprotokolle SSH und http. Abschließend wird in Kapitel 6 eine Zusammenfassung samt Ausblick auf den Themenkomplex der resilienten Datenkommunikation mittels LPWAN-Technologie gegeben.

2 Verwandte Arbeiten / Stand der Forschung und Technik

IoT gilt als eine der Schlüsseltechnologien für die nächste Stufe der Landwirtschaft [Li20]. Kernmerkmal von IoT ist die Anbindung kleiner Geräte an ein Netzwerk, um eine Steuerung und Überwachung der echten Welt mittels Informationstechnologie durchzuführen. In der Landwirtschaft gibt es bereits eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, die eine Ertragsoptimierung versprechen [Ay19]. Zu den Beispielen gehören Bodensensoren zur Nährstoffermittlung, Bewässerungsanlagen und Insektenfallen, neben vielen anderen. Ein Großteil der Anwendungsfälle setzt dabei auf eine drahtlose Datenübermittlung. Da sich klassische Übertragungstechnologien für den Hausgebrauch wie LTE, WiFi oder Bluetooth durch zu hohen Stromverbrauch (LTE, WiFi) oder zu geringe Reichweite/Abdeckung (WiFi /Bluetooth) nicht eignen, haben sich vergleichsweise neue Technologien hervorgetan, die sogenannten Low Power Wide Area Networks (LPWAN).

In der Kategorie LPWAN gibt es diverse Kommunikationstechnologien und -protokolle [RKS17]. Zu den bekannteren Vertretern gehören SigFox [LPP19], LoRaWAN [Lo17], und NB-IoT [Ra16], darüber hinaus gibt es weniger populäre Protokolle wie Ingenu RPMA [RKS17] und MIOTY [Ju19]. Merkmale der Technologien lassen sich tabellarisch wie folgt zusammenfassen:

Technologie	Frequenzband	Reichweite	Datenrate
LoRaWAN	868 MHz (EU)	bis 30 km	50 kbps
MIOTY	868 MHz	bis 15 km	407 bps

Technologie	Frequenzband	Reichweite	Datenrate
NB-IoT	180 KHz	bis 15 km	250 kbps
SigFox	908.42 MHz	bis 50 km	100 bps (up) 600 bps (down)
Ingenu RPMA	2,4 GHz	bis 15 km	78 kpbs (up) 19,5 kpbs (down)

Tab. 1: LPWAN-Technologien im Vergleich

Unter diesen betrachteten LPWAN-Technologien ist allerdings LoRaWAN hervorzuheben, zumindest durch zwei Aspekte: (1) Es handelt sich um einen vergleichsweise offenen Standard und darf eigenständig betrieben werden, und (2) durch die hohe Popularität gibt es eine große Menge an verfügbarer Hardware zum Aufbau von LoRaWAN-Netzwerken, ebenso wie Sensorknoten, die Daten mittels LoRaWAN übermitteln.

3 Anwendungsfall und Kommunikationstechnologie von Agrar-IoT

Probleme der modernen Technologie mit IT-Komponenten bieten einige Vorzüge, können aber ebenso in der Praxis negative Konsequenzen mit sich bringen [RSE19]. Gerade beim Ausfall von Regelungstechnik kann es zu ernsthaften Problemen kommen, beispielsweise bei der Steuerung von Biogasanlagen oder der Stallklimatisierung. Wenn wichtige Informationen über drahtlose Kommunikationskanäle übermittelt werden, muss entsprechend sichergestellt werden, dass diese Kommunikationskanäle auch funktionieren. Ist dies nicht der Fall, so kann es vorkommen, dass beispielsweise kritische Fehlermeldungen nicht rechtzeitig bei entsprechenden Stellen ankommen. Weniger gravierend, aber dennoch problematisch kann auch moderne Technologie in Zusammenhang mit einer vergleichsweise schlecht ausgebauten Mobilfunkabdeckung in Deutschland sein, besonders im ländlichen Raum [We20].

Stellvertretend für IoT-Technologie, die in Deutschland verfügbar ist, wurde in Q1/2020 eine Auswahl von Herstellern von Agrarelektronik hinsichtlich der Kommunikationstechnologien ihrer Produkte untersucht, wodurch sich folgende Zusammenstellung ergibt:

Hersteller	Kommunikationstechnologie
Agricon	USB, Mobilfunk, WiFi
Big Dutchman	USB, Mobilfunk, LAN, ISDN
CLAAS	USB, Mobilfunk, WiFi, Satellit
Gemini Data Loggers	USB, LAN, proprietäre Funklösung
METOS by Pessl Instrument	Mobilfunk, WiFi, LoRaWAN, NB-IoT

Hersteller	Kommunikationstechnologie
Müller Elektronik	USB, Mobilfunk, Satellit, Bluetooth

Tab. 2: Kommunikationstechnologien unterschiedlicher Agrarelektronik-Hersteller

Hierbei zeigt sich, dass Hersteller auch durchaus noch auf Mobilfunk als Mittel der Wahl setzen um ihre Produkte im Feld anzusteuern. Idee dieser Arbeit ist nun einen auf LPWAN-Technologie basierten Kommunikationskanal für Geräte zu entwickeln, die von Haus aus noch nicht damit ausgestattet sind. Vorteile, die sich dadurch ergeben, sind folgende: (1) Bei oben beschriebener mangelnder Netzabdeckung kann man das Gerät dennoch in weiter Entfernung einsetzen, (2) es lässt sich ein redundanter Kanal für kritische Kommunikation einrichten, und (3) es lässt sich ältere Hardware mit LPWAN-Funktionalität ausstatten.

4 Konzept und Umsetzung: LoRa + AX.25 + IPv4 + TCP

Aufgrund der soliden Reichweite bei vergleichsweise hoher Datenrate sowie guter Verfügbarkeit für Hardware- und Software-Komponenten haben wir uns bei der Umsetzung der LPWAN-basierten Übertragung für LoRaWAN als Ausgangspunkt entschieden. Größtes Hindernis bei der Übertragung von Daten zwischen herkömmlichen Netzwerkanwendungen und LPWAN-Anwendungen ist die Übersetzung der Adressierung. Um Overhead zu vermeiden, werden LPWAN-Protokolle nicht mit einem TCP/IP-Stack ausgestattet. Dieser ist allerdings für die Kommunikation mit herkömmlichen Geräten vonnöten. Kernaspekt unseres Konzeptes ist es daher, die weitreichende LPWAN-Technologie mit eben jenem TCP/IP-Stack auszustatten. Dafür wird alles von LoRaWAN über OSI-Schicht 1 (Physical Layer) ersetzt. Von LoRaWAN bleibt folglich nur noch LoRA übrig. A(mateur)X.25 [NK18] ist ein Data Link Layer Protokoll, das eine Variation des X.25 Protokolls darstellt, welches extra für den Amateurfunk angepasst ist und unter anderem die Kommunikation via Frames spezifiziert. AX.25 übernimmt die typischen Aufgaben von OSI-Schicht 2 (Data Link Layer) wie den Verbindungsaufbau zwischen zwei Endgeräten oder den Funkkanalzugriff. Durch AX.25 können auf OSI-Schicht 3 und 4 somit IPv4 und TCP implementiert werden.

Das Konzept wurde in einem Testbett umgesetzt, um es auch mit echter Hardware testen zu können. RNodes (siehe https://unsigned.io/projects/rnode/, zuletzt abgerufen am 05.11.2020) wurden hierbei als Netzwerkmodule eingesetzt. Zwei Laptops dienten als

Brücke zu herkömmlichen IP-basierten Anwendungen, die mittels Virtuellen Maschinen simuliert wurden:

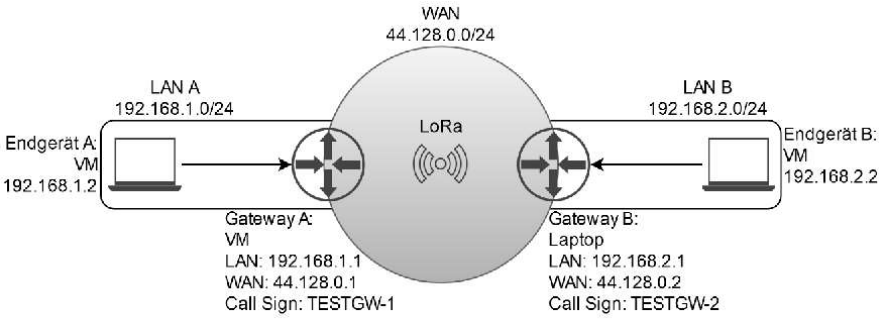


Abb. 1: Schema des Testbett-Aufbaus

5 Auswertung

Um die Funktionalität zu testen, wurden die beiden Protokolle http und SSH ausgewählt, da sie typische Anwendungsszenarien repräsentieren: unverschlüsselter einseitiger Datenaustausch (http) sowie verschlüsselte bidirektionale Kommunikation (SSH). Der http-Test beinhaltet dabei die einfache Übermittlung der aktuellen Zeit. Der SSH-Test besteht aus einem einfachen Verbindungsaufbau mittels OpenSSH (sowohl Client als auch Server). Ein erfolgreicher Verbindungsaufbau wird als Erfolg gewertet. Da sich LoRa mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsstufen (zu Lasten der Reichweite) konfigurieren lässt, dem sogenannten Spreading Factor (SF) – wobei Werte zwischen SF7 (schnell) und SF12 (hohe Reichweite) möglich sind – wurden die Tests in bis zu 1 km mit SF7, SF9 und SF12 durchgeführt. Die Tests waren alle erfolgreich, bis auf ssh mit SF12, womit wir die prinzipielle Funktionalität des Konzeptes zeigen können. Je mehr Bandbreite ein Protokoll benötigt, desto geringer ist allerdings die Wahrscheinlichkeit, eine sehr hohe Reichweite zu erzielen. Ebenso wird sich aufgrund der geringen Datenrate von max. 50 kbps nur textuelle Datenübertragung (z. B. Sensordaten, Statuscodes von Steuerungsanlagen) eignen. Eine denkbare Anwendung könnte die Überwachung einer bestehenden Stallklimatisierung sein.

6 Abschluss und Ausblick

Die politischen, wissenschaftlichen und technologischen Trends zeigen, dass die Digitalisierung in der Landwirtschaft in Zukunft weiter zunehmen wird. Die damit einhergehende Vernetzung und Automatisierung lassen die benötigten Kommunikationskanäle somit immer wichtiger werden, was die Notwendigkeit der Forschung in diesem Gebiet verdeutlicht. Mit unserem Beitrag haben wir gezeigt, dass es

Möglichkeiten gibt, moderne, autark-betreibbare, weitreichende Kommunikationskanäle zu nutzen, um klassische TCP/IP-basierte Technologie zu nutzen. Unsere Umsetzung hat dabei LoRa mittels AX.25 kombiniert, um die Nutzung von TCP/IP über weite Strecken zu ermöglichen. Besonders interessant für weitere Untersuchungen sind LPWAN-Technologien, die in einem Frequenzband arbeiten, das keine Restriktion der Sendezeit (Duty Cycle) aufweist, z. B. Ingenu RPMA.

Danksagung: Diese Arbeit wurde aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank im Rahmen des Projekts GeoBox-I sowie GeoBox-II sowie durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen von HyServ (01IS17030B) gefördert.

Literaturverzeichnis

[Ay19] Ayaz, M. et al.: Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. In: *IEEE Access* Bd. 7, S. 129551–129583, 2019.

[Ju19] Jubin S. E et al.: Test and Measurement of LPWAN and Cellular IoT Networks in a Unified Testbed. In: *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Bd. 2019-July, S. 1521–1527, 2019.

[Ku20] Kuntke, F. et al.: Die GeoBox-Vision: Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. In: *Mensch und Computer 2020*, S. 1–6, 2020.

[LPP19] Lavric, A.; Petrariu, A. I.; Popa, V.: Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis under Large-Scale, High-Density Conditions. In: *IEEE Access* Bd. 7, S. 35816–35825, 2019.

[Li20] Liu, Y. et al.: From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. In: *IEEE Trans. Industrial Informatics* Bd. 3203, 2020.

[Lo17] LoRa Alliance Technical Commitee: LoRaWAN 1.1 Specification. In: *LoRaWAN 1.1 Specification*, Nr. 1.1, S. 101, 2017.

[No18] Nolan, K.; Kelly, M.: IPv6 convergence for IoT cyber-physical systems. In: *Information (Switzerland)* Bd. 9, Nr. 4, 2018.

[RKS17] Raza, U.; Kulkarni, P.; Sooriyabandara, M.: Low Power Wide Area Networks: An Overview. In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19.2, S. 855–873, 2017.

[RSE19] Reuter, C.; Schneider, W.; Eberz, D.: Resilient Smart Farming (RSF) – Nutzung digitaler Technologien in krisensicherer Infrastruktur. In: *38. GIL-Jahrestagung: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen*, S. 177–182, 2019.

[Ra16] Ratasuk, R. et al.: NB-IoT system for M2M communication. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, S. 2–6, 2016.

[We20] Wernick, C. et al.: *Der deutsche Telekommunikationsmarkt im internationalen Vergleich –Abschlussbericht –*. Bad Honnef, 2020.

GIS-gestützte Modellierung von Ökosystemleistungen – Status quo, Potenziale und Trade-offs

Marvin Melzer[1] und Sonoko Bellingrath-Kimura[1]

Abstract: Die Bewertung von Ökosystemleistungen (ÖSL) ist der Schlüssel für eine zukünftige zielgerichtete und leistungsorientierte Subventionierung landwirtschaftlicher Maßnahmen. Basierend auf den Hauptfruchtarten der letzten fünf Jahre wurden der aktuelle Zustand sowie das Optimierungspotenzial der ÖSL Erosionsschutz (t $ha^{-1}a^{-1}$) und Biomasseertrag (€ ha^{-1}) in zwei 5x5 km Landschaftsausschnitten in Brandenburg durch einen Szenarien-Vergleich für jeden einzelnen Schlag quantitativ bewertet. Eine Erhöhung des Erosionsschutzes stand generell nicht im Widerspruch zu einer Steigerung des Biomasseertrags, somit konnten 51 Schläge (Hotspots) identifiziert werden, auf denen eine Umstellung der Fruchtfolge zu positiven Effekten für beide ÖSL führen kann. Die Ergebnisse können über Programmschnittstellen in landwirtschaftliche Decision-Support-Systeme wie digitale Schlagkarteien integriert, z. B. durch ein Ampelsystem visualisiert und für die Praxis zugänglich gemacht werden.

Keywords: Ökosystemleistung, GIS, Erosionsschutz, InVeKos, Fruchtfolge, ABAG, Landnutzung, Agrarsubvention, DSS, FMIS

1 Einleitung

Ökosystemleistungen sind definiert als der Nutzen, den der Mensch aus der Natur zieht (MA 2005). Landwirtschaftliche Maßnahmen, die zu einer Zustandsverbesserung vernachlässigter ÖSL führen, sollen gezielt subventioniert werden (Ronchi 2018; Europäische Kommission 2011). Die quantitative Bewertung und Visualisierung von ÖSL auf Agrarflächen ist der Schlüssel für eine zielgerichtete und leistungsorientierte Vergütung landwirtschaftlicher Maßnahmen (Maes et al. 2012). Diese Arbeit stellt ein Konzept vor, mit dem Zustand und Optimierungspotenzial von und Trade-offs zwischen den ÖSL Erosionsschutz (Wassererosion) und Biomasseertrag (monetär) auf Schlagebene durch mathematische Modelle quantifiziert und visualisiert werden kann. Es sollen Schläge (Hotspots) identifiziert werden, auf denen Bewirtschaftungsmaßnahmen zu einer Verbesserung beider ÖSL führen können.

[1] Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Programmbereich 2, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Deutschland, marvin.melzer@zalf.de, sonoko.bellingrath-kimura@zalf.de

2 Material und Methoden

Für die Modellierung der ÖSL wurden Rasterdaten zu Klima, Boden und Relief sowie aktuelle InVeKos-Daten[2] aus den Jahren 2015 bis 2019 mit Informationen zur jährlichen Landnutzung (Hauptfrucht) in zwei 5 x 5 km großen Landschaftsausschnitten und deren unmittelbaren Umgebung in Brandenburg verwendet. Die Einteilung der Klassen zur Visualisierung der Ergebnisse wurde mit dem Jenks-Caspall-Algorithmus berechnet.

2.1 Berechnung der Ökosystemleistung Erosionsschutz

Die ÖSL Erosionsschutz wurde definiert als der jährlich durch die Landnutzung vermiedene Bodenabtrag unter der Annahme, dass eine Ackerbrache den höchsten Bodenabtrag verursacht. Der durchschnittliche jährliche Bodenabtrag wurde basierend auf der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) nach Schwertmann et al. (1987) mit dem Modell InVEST SDR (The Natural Capital Project 2020) für die InVeKos Hauptfruchtarten von 2015 bis 2019 berechnet, sowie für ein theoretisches Minimum unter Dauergrünland. Der unter aktuellen Bedingungen noch vermeidbare Bodenabtrag ergab sich aus der Differenz des aktuellen Bodenabtrags und des Minimums. Die erzeugte Rasterdatei wurde mit den Polygonflächen der InVeKos-Daten verschnitten, um den durchschnittlichen vermeidbaren Bodenabtrag pro Schlag in ArcGIS Pro darzustellen.

2.2 Berechnung der ÖSL Biomasseertrag

Die ÖSL Biomasseertrag wurde monetär durch die Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAL) der Hauptfruchtarten von 2015 bis 2019 quantifiziert, um Kulturen verschiedener Nutzungstypen (Nahrungsmittel, Energiepflanzen, Baustoffe) angemessen vergleichen zu können. Die DAL einzelner Kulturarten wurden mit dem KTBL Leistungs-Kostenrechner (KTBL 2020) ermittelt. Die Parameter des Rechners wurden an die durchschnittlichen standortspezifischen Produktionsfaktoren und Ertragserwartungen angepasst. Zusätzliche Einnahmen durch Agrarsubventionen sowie Kosten durch Pacht wurden nicht berücksichtigt.

2.3 Bestimmung von Hotspots, Trade-offs und Synergien der ÖSL Erosionsschutz und Biomasseertrag

Per SQL-Abfrage in ArcGIS Pro wurden Schläge selektiert und hervorgehoben, deren ÖSL in einem schlechten Zustand sind. Nur Schläge, deren DAL unter 0 € ha^{-1} liegen, die

[2] Das Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS) ist ein System von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedstaaten. Datenquelle: MLUL Brandenburg

ein verbleibendes Erosionsschutzpotenzial von mindestens 0,02 t $ha^{-1}a^{-1}$ und eine Mindestgröße von 5000 Quadratmetern aufweisen, wurden selektiert.

Um mögliche Trade-offs oder Synergien zwischen den ÖSL zu ermitteln, wurde eine Korrelationskurve erstellt, die den Zusammenhang zwischen dem noch vermeidbaren Bodenabtrag und den DAL prüfen soll. Fehlerhafte Inputdaten, wurden ausgeschlossen. Für diese Analyse wurde eine separate Selektion durchgeführt. Es wurden nur Schläge betrachtet, die größer als 2000 m² sind, auf denen der Bodenabtrag noch mindestens um 0,2 t $ha^{-1}a^{-1}$ reduziert werden kann und gleichzeitig die DAL kleiner als 6000 € ha^{-1} sind.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Erosionsschutz

Der jährliche Bodenabtrag könnte durch eine Optimierung der Fruchtfolge innerhalb der Landschaftsausschnitte im Schnitt um 0,025 t ha^{-1} a^{-1} reduziert werden (Abb. 1).

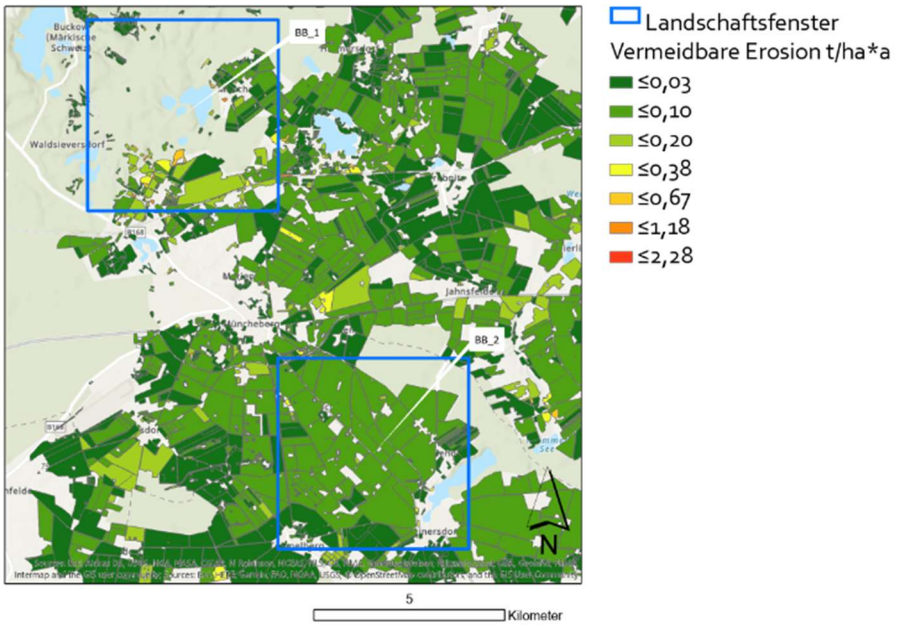


Abb. 1: Erosionsschutzpotenzial in den Landschaftsausschnitten BB_1 und BB_2 und der umliegenden Umgebung in Brandenburg nahe Müncheberg, visualisiert als die noch vermeidbare Erosion in t ha^{-1} a^{-1} auf Schlagebene.

3.2 Biomasseertrag

Die DAL der Hauptfruchtarten innerhalb mehrjähriger Fruchtfolgen (2015-2019) schwankten zwischen -891 € und 15000 € pro Schlag (Abb. 2). Im Landschaftsausschnitt BB_2 lagen sie zwischen -875 € und 7008 € und im Schnitt bei 1063 € pro Schlag. In BB_1 lag der Wert pro Schlag zwischen -855 € und 11832 € und im Schnitt bei 1403 €. Negative Werte sind durchaus nachvollziehbar, da Agrarsubventionen und zusätzliche unbekannte Einnahmen nicht in der Berechnung berücksichtigt wurden. Die Berücksichtigung von Zwischenfrüchten würde das Modell z. B. deutlich verbessern.

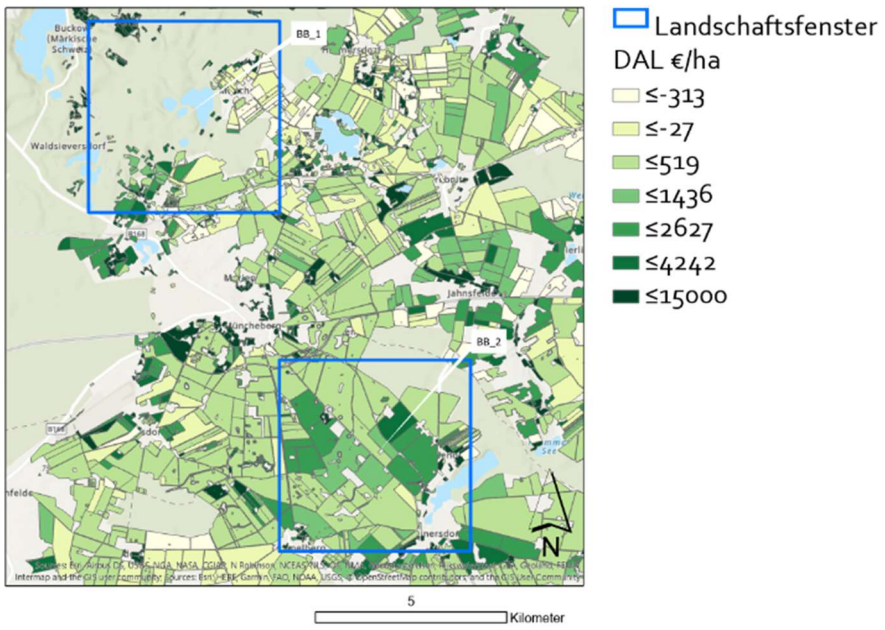


Abb. 2: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistungen der Hauptfruchtarten von 2015 bis 2019 (€ ha^{-1}) in den Landschaftsausschnitten BB_1 und BB_2 und der umliegenden Umgebung in Brandenburg nahe Müncheberg. Visualisierung auf Schlagebene.

Die Korrelation zwischen dem noch vermeidbaren Bodenabtrag und den DAL zeigte keinen signifikanten Zusammenhang. Ein vernachlässigter Erosionsschutz lässt sich somit nicht durch höhere Einnahmen ungünstiger Fruchtfolgen erklären, wobei Pachtpreise und Subventionen nicht berücksichtigt wurden. Eine Anpassung von Fruchtfolgen zur Verbesserung des Erosionsschutzes kann somit auch zu wirtschaftlichen Vorteilen führen, jedoch müssen weitere Faktoren wie z. B. die Nutzbarkeit der angebauten Kulturarten innerhalb

des Betriebssystems sowie Vertriebsmöglichkeiten, verfügbare Maschinen und spezielle Anforderungen an Boden und Klima geprüft werden. Die Wassererosion im Untersuchungsgebiet ist aufgrund des Reliefs und der Bodeneigenschaften generell sehr niedrig, dadurch ist der Erosionsschutz hier keine ausschlaggebende Ökosystemleistung für die Optimierung der Landnutzung. Deshalb müssen weitere ÖSL wie z. B. Biodiversität, Wasserverfügbarkeit und Klimastabilität in die Bewertung integriert werden, um andere Trade-offs ausschließen/bewerten zu können.

3.3 Hotspots für Agrar-Maßnahmen

Im Landschaftsausschnitt BB_1 wurden 42 Schläge als Hotspots für landwirtschaftliche Maßnahmen identifiziert, in BB_2 nur 9 Schläge (Abb. 3). Grund dafür ist hauptsächlich das heterogenere Relief in BB_1, das zu höheren Bodenabträgen führt und damit auch das Erosionsschutzpotential vergrößert. Die Visualisierung der Hotspots ermöglicht dem Landwirt, der die entsprechenden Schläge bewirtschaftet, eine zielgerechte Umsetzung von Maßnahmen mit erhöhtem Wirkungspotenzial im Verglich zu anderen Schlägen.

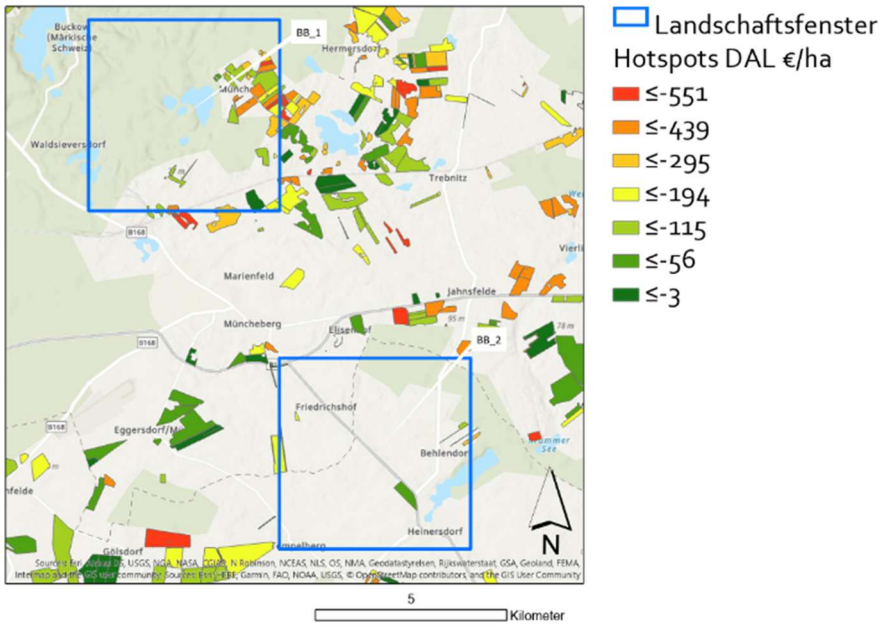


Abb. 3: Hotspot-Flächen mit Optimierungspotenzial für die ÖSL Erosionsschutz und Biomasseertrag. Schläge ab einer Größe von 5000 m², deren DAL unter 0 € ha^{-1} liegen und ein verbleibendes Erosionsschutzpotenzial von mindestens 0,02 t $ha^{-1}a^{-1}$ aufweisen.

4 Fazit

Das vorgestellte Konzept unterscheidet sich von bisherigen Ansätzen, bei denen ÖSL nur auf globaler oder regionaler anstatt auf Schlagebene und unter Berücksichtigung der kulturartenspezifischen Landnutzung bewertet wurden. Die hier vorgestellte Bewertung einer Ökosystemleistung innerhalb eines Flurstücks erfolgte nicht in Relation zum gesamten Untersuchungsgebiet, sondern durch einen Szenarien-Vergleich für jeden einzelnen Schlag. Somit konnten landwirtschaftliche Nutzflächen identifiziert werden, auf denen das Optimierungspotenzial von ÖSL und eine potentielle Vergütung gezielter Maßnahmen am höchsten sind. Eine Verknüpfung verschiedener Datenquellen (InVeKos, KTBL, Ertragsdaten, Boden, Klima etc.) zu einer umfassenden und stets aktuellen Datenbank ermöglichte eine dynamische Berechnung der ÖSL und deren Trade-offs und Synergien. Die Ergebnisse können über Programmschnittstellen in landwirtschaftliche Decision-Support-Systeme wie digitale Schlagkarteien integriert, z. B. durch ein Ampelsystem visualisiert und für die Praxis zugänglich gemacht werden.

Literaturverzeichnis

[EK11] Europäische Kommission: Die Biodiversitätsstrategie der EU bis 2020, Amt für Veröff. der Europ. Union., Luxemburg, 2011.

[KT20] KTBL: Leistungs-Kostenrechnung-Pflanzenbau, https://daten.ktbl.de/dslkr-pflanze/postHv.html, Stand: 08.10.20.

[MA05] MA: Ecosystems and human well-being. Current state and trends findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC, 2005.

[Ma12] Maes, J.; Paracchini, M. L.; Zulian, G.; Dunbar, M. B.; Alkemade, R: Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. Biological Conservation 155, S. 1–12, 2012.

[Ro18] Ronchi, S.: Ecosystem services for spatial planning. Innovative approaches and challenges for practical applications, Springer, Cham, 2018.

[SVK87] Schwertmann, U.; Vogl, W.; Kainz, M.: Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, Ulmer, Stuttgart, 1987.

[TN20] The Natural Capital Project: InVEST - Sediment Delivery Ratio, http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/sdr.html#the-model, Stand: 06.11.20.

Entwicklung eines einfachen Ansatzes zur Schätzung ökonomisch optimaler Stickstoffdüngemengen auf der Basis von Feldversuchsdaten

Andreas Meyer-Aurich [1], Hans-Peter Piepho [2], Yusuf Nadi Karatay [1] und Uwe Hunstock[1]

Abstract: Dieser Beitrag stellt einen einfachen Ansatz zur Schätzung des ökonomisch optimalen Einsatzes von Stickstoffdünger (N) auf der Basis von Feldversuchsdaten dar. Ökonomisch optimale Einsatzmengen von Betriebsmitteln werden in der Regel auf der Basis von Produktionsfunktionen geschätzt. Es hat sich allerdings gezeigt, dass verschiedene Produktionsfunktionen aufgrund inhärenter impliziter Annahmen zu sehr verschiedenen Schätzungen von ökonomisch optimalen N-Gaben führen können. Der dargestellte alternative Ansatz basiert auf der Berechnung des mittleren Grenzgewinns innerhalb eines zu definierenden Intervalls von N-Düngermengen. Die niedrigste N-Düngung, die einen mittleren Grenzgewinn ≤ 0 ergibt, wird als optimale Düngung ausgegeben. Der Ansatz wird an einem Beispieldatensatz angewendet und mit Regressionsansätzen verglichen und diskutiert.

Keywords: Stickstoffdüngung, Produktionsfunktion, ökonomisches Optimum

1 Einleitung

In der landwirtschaftlichen Betriebslehre werden optimale Einsatzmengen von Betriebsmitteln in der Regel mit Produktionsfunktionen bestimmt. Insbesondere bei der Stickstoffdüngung (N-Düngung) sind optimale Einsatzmengen von besonderer Bedeutung, da die Kosten der N-Düngung einen beträchtlichen Teil der direkten Kosten ausmachen und die Effektivität der Düngung sehr unterschiedlich sein kann. Auch wenn die *ex-post* Analyse von N-Steigerungsversuchen in der operativen Düngeplanung nur bedingt von Nutzen ist, kann sie doch helfen, bei der Reflexion von Düngeentscheidungen oder bei der Modellierung, etwa für die Kalkulation von Opportunitätskosten der Düngung bei reduzierter Düngung. Vielfach werden vereinfachend quadratische Produktionsfunktionen unterstellt, da sie sich auch bei begrenzten Datenmengen schätzen lassen und den abnehmenden Ertragszuwachs gut abbilden. Alternativ dazu wird auch ein linear-limitationaler Verlauf von

[1] Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie, Max-Eyth Allee 100, 14469 Potsdam, ameyeraurich@atb-potsdam.de, https://orcid.org/0000-0002-8235-0703; ykaratay@atb-potsdam.de, https://orcid.org/0000-0001-8163-4950; uhunstock@atb-potsdam.de
[2] Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fruwirthstrasse 23, 70593 Stuttgart, piepho@uni.hohenheim.de, https://orcid.org/0000-0001-7813-2992

Produktionsfunktionen zur Diskussion gestellt, der sich am Gesetz des Minimums orientiert, das auf von Liebig zurückgeht [Wa95]. Bei diesen auch als linear-Plateau-Funktionen [SP02] bezeichneten Funktionen wird von einem linearen Funktionsverlauf bis zu einem Knickpunkt ausgegangen. Nach dem Knickpunkt wird der Ertrag innerhalb des relevanten Bereiches konstant auf einem Plateau angenommen. Darüber hinaus werden quadratisch-Plateau-Funktionen, exponentielle Funktionen und Wurzelfunktionen für die Ertragsschätzung aus der N-Düngung herangezogen [He07; FH17]. Die aus den unterschiedlichen Annahmen zu Produktionsfunktionen abzuleitenden optimalen Düngemengen unterscheiden sich vielfach in großem Maße, was die Relevanz der Wahl der Produktionsfunktion deutlich macht. Verschiedene Arbeiten haben gezeigt, dass sich der wahre Verlauf der Produktionsfunktion aus Versuchsdaten auch bei sehr guter Datenverfügbarkeit oft nicht aus den Daten ableiten lässt [BG14; He17]. Vor dem Hintergrund der Unsicherheiten um die richtige Produktionsfunktion orientieren sich in der landwirtschaftlichen Praxis Düngeempfehlungen daher vielfach an einfachen Heuristiken, die sich am Entzug der Pflanzen orientieren und Preise und Kosten unberücksichtigt lassen. Die zunehmende Regulierung des Einsatzes von Düngern bringt weitere Regelungen mit sich, die für Landwirte begrenzend wirken und letztlich die Düngeentscheidungen zu einem großen Teil bestimmen. Unabhängig davon bleibt die Frage des ökonomischen Optimums, die wichtig ist, um Nutzungskosten reduzierter Düngung zu bestimmen, und ggf. eine Erklärung liefern kann für das Düngeverhalten von Landwirten [MK19].

Dieser Beitrag untersucht die Möglichkeiten und Probleme des Einsatzes verschiedener Spezifikationen zur Schätzung von Produktionsfunktionen zur Bestimmung ökonomisch optimaler Inputmengen aus Daten, wie sie vielfach aus landwirtschaftlichen Feldversuchen zur Verfügung stehen. Es wird ein Algorithmus vorgestellt, wie auf der Basis begrenzter Daten mit einem Glättungsverfahren ökonomisch optimale N-Düngergaben abgeleitet werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Datengrundlage

Diese Analyse basiert auf Ergebnissen aus einem N-Steigerungsversuch im Land Brandenburg [Mi16]. Exemplarisch wurden hier Daten eines Feldversuchs vom Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg zu Winterroggen verwendet. In den Versuchen wurde eine Düngemenge auf der Basis von mineralisiertem N im Boden und angestrebtem Ertragsziel ermittelt, die der Düngeempfehlung entsprach. Im Vergleich dazu wurden erhöhte und verminderte Düngemengen und eine Kontrolle ohne N als Faktorstufen in das Feldexperiment integriert. Jede Faktorstufe wurde mit vier randomisierten Wiederholungen durchgeführt.

2.2 Regressionsanalysen

Für die Auswertung wurden jeweils die Mittelwerte der Erträge der verschiedenen Faktorstufen berücksichtigt, um verschiedene Regressionen durch die Datenpunkte zu schätzen. Produktionsfunktionen wurden in der Form als quadratische (1) Produktionsfunktion, linear-limitationale (2) und quadratisch-limitationale (3) Produktionsfunktion mit dem R-Paket „easynls“ [Ar17] geschätzt.

$$\bar{y} = a + bx + cx^2 \tag{1}$$

$$\bar{y} = a + b(x - c)(x \leq c) \tag{2}$$

$$\bar{y} = a + bx + cx^2 \left(x \leq -\frac{b}{2c}\right) + \left(a - \frac{b^2}{4c}\right)\left(x > -\frac{b}{2c}\right) \tag{3}$$

Hierbei liefern die logischen Funktionen $\{(x \leq c), \left(x \leq -\frac{b}{2c}\right), \left(x > -\frac{b}{2c}\right)\}$ den Wert 1, wenn die Ungleichung in der Klammer wahr ist, und sonst den Wert 0. Die Buchstaben a, b und c bezeichnen jeweils die Parameter des Modells, während y die Zielvariable (hier der mittlere Ertrag) und x die Einflussvariable (N-Menge) sind.

2.3 Ansatz zur Schätzung eines ökonomischen Optimums

Der hier vorgeschlagene Ansatz zur Schätzung des ökonomischen Optimums basiert auf der Berechnung des Grenzgewinns auf der Basis ermittelter Ertrags- und Düngergaben, sowie der Faktor-Produktpreisrelation. Das ökonomische Optimum wird dort lokalisiert, wo eine zusätzliche Düngung keinen Gewinnbeitrag liefert. Hierzu wird zunächst der Ertrag E in Abhängigkeit von N als lineare Interpolation zweier Ertragsbeobachtungen ($E(N_i)$ und $E(N_{i+1})$ aufsteigender Stickstoffgaben geschätzt (4).

$$\hat{E}(N) = E(N_i) + (N - N_i) * \frac{E(N_{i+1})}{E(N_i)} \tag{4}$$

Aus der Relation der Erträge aufsteigender N-Gaben lässt sich der Grenzertrag und unter Hinzuziehung von Preisen für N (p_N) und Produkt (p_P) ein Grenzgewinn (dG) ableiten (5).

$$dG = \left[\hat{E}(N) - \hat{E}(N-1)\right] * p_p - p_N \,, \tag{5}$$

Der Grenzgewinn springt unstetig aufgrund der unterschiedlichen Steigung der Ertragsfunktion $\hat{E}(N)$. Unter Berücksichtigung eines durch den Nutzer bestimmten Intervalls I für den N-Input wird ein gleitender Mittelwert des Grenzgewinns ($\overline{dG}$) aus dem Polygonzug aus Formel (4) berechnet (6). Die niedrigste N-Düngergabe, die einen Grenzgewinn ≤ 0 ergibt, wird bei diesem Ansatz als Optimum ausgewiesen. Die Einbeziehung des Intervalls berücksichtigt den Grenzgewinn in der Nähe der betrachteten N-Düngung und ist als Alternative zur Unterstellung bestimmter Kurvenverläufe der Ertragsfunktion zu sehen.

$$\overline{dG}(\mathrm{N},\mathrm{I}) = \frac{\int_{N-I/2}^{N+I/2} dG(N)}{I} \quad (6)$$

Der Verlauf der durchschnittlichen Grenzgewinnfunktion wird visualisiert, sodass die Nutzerin interaktiv den Bereich anpassen kann, der bei der Bestimmung des Optimums berücksichtigt werden soll. Standardmäßig ist ein Fenster von 20 kg N/ha eingestellt, sodass sich der Grenzgewinn einer N-Düngergabe aus dem Mittelwert der Grenzgewinne der Düngung ±10kg N/ha ergibt. Das Intervall kann variiert werden, um die Sensitivität des Intervalls für das Ergebnis zu testen.

3 Ergebnisse

Auf Basis der Ertragsdaten des Feldversuchs zeigt sich, dass sich die drei Funktionen der Regressionsanalyse mit ähnlichen Bestimmtheitsmaßen schätzen lassen (Abb. 1, Tab. 1). Die daraus abzuleitenden ökonomischen Optima unterscheiden sich allerdings innerhalb einer Spanne von 16 kg N/ha. Bei den beiden Plateau-Funktionen wird im Vergleich zur quadratischen Funktion das Ertragspotenzial unterschätzt. Das ökonomisch optimale Einsatzniveau liegt unter dem Niveau bei quadratischer Schätzung des Ertrags. Das linear-Plateau-Modell liefert die niedrigste Düngemenge, die zu einem ökonomisch optimalen Ertrag führt. Aus den Datenpunkten lässt sich allerdings nicht ersehen, warum der Knickpunkt der Funktion genau an der Stelle liegen soll, der aufgrund der Minimierung der Abstände der Datenpunkte zur Regressionsfunktion berechnet wurde, oder ob die Funktion überhaupt einen Knickpunkt hat.

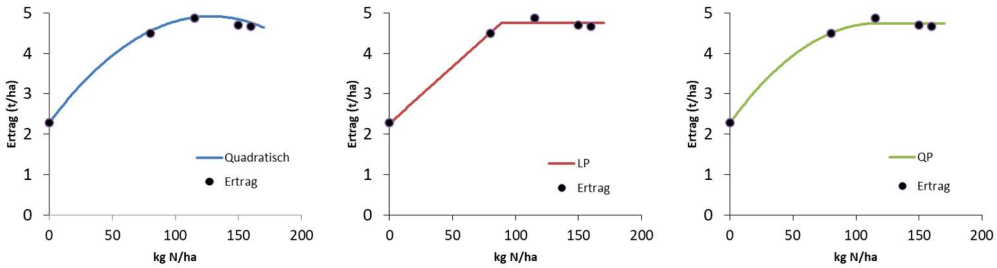


Abb. 1: Verlauf der quadratischen, linear-Plateau (LP) und quadratisch-Plateau (QP) Funktion auf der Basis der Ertragsdaten von Winterroggen im Jahr 2016 [Mi16]

Das Ergebnis der Schätzung optimaler N-Gaben nach dem eigenen Ansatz ist in Abb. 2 für zwei Fenster (0 und 20 kg N/ha) visualisiert. Die linke Grafik zeigt den partiellen Deckungsbeitrag des Anbaus von Winterroggen ohne Berücksichtigung einer Glättung an. Der Grenzgewinn zeigt einen unstetigen Verlauf entsprechend der jeweiligen Steigung zwischen den Düngegaben. Bei einer Düngung in Höhe von 110 kg N wurde der höchste Ertrag erzielt, der Grenzgewinn ist für Düngegaben > 110 kg N negativ.

Daher wird die Düngung von 110 kg N/ha als Optimum ausgegeben. Unter Berücksichtigung der Ertragswirkungen innerhalb von ± 10 kg N/ha (Fenster 20 kg N), ergibt sich ein geglätteter Verlauf des Deckungsbeitrags und des Grenzgewinns. Bei der Düngung von 108 kg N/ha ist der mittlere Grenzgewinn „0“ und somit das Optimum unter Berücksichtigung des Fensters von 20 kg N. Mit einem größeren Fenster (50 kg N) wird die Grenzkostenkurve flacher und schneidet die x-Achse bei einem niedrigeren Wert (104 kg N/ha). Die optimale Düngung ist niedriger, aber in diesem Fall relativ robust.

Parameter	Quadratisch	Linear-Plateau	Quadratisch-Plateau
Koeff. A	2,29	4,75	2,29
Koeff. B	0,041	0,028	0,042
Koeff. C	-0,00016	88,93	-0,00018
r^2	0,9991	0,995	0,995
AIC/ BIC	-13,08/ -14,6	-4,66/ -6,22	-4,64/-6,19
Nopt	105 kg N/ ha	89 kg N/ ha	99 kg N/ ha

Tab. 1: Schätzgrößen, Anpassungsstatistiken und ökonomisch optimale Einsatzmengen (Nopt) für Winterroggen 2016 (Preise für N und Winterroggen: 0,90 €/kg und 140,- €/t)

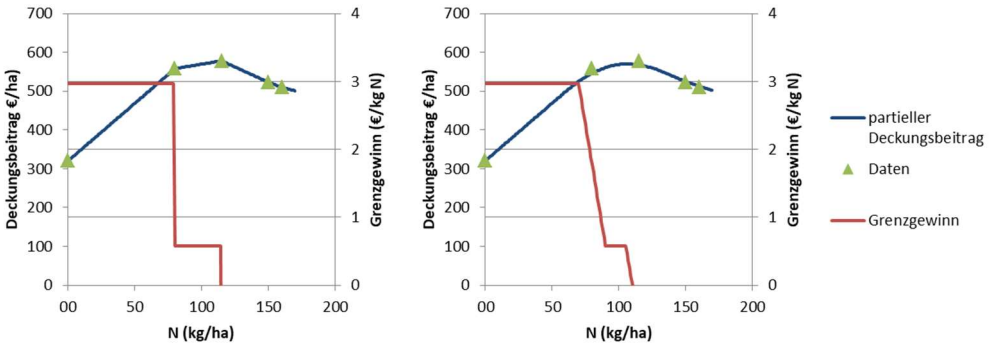


Abb.2 Partieller Deckungsbeitrag und Grenzgewinn bei einem Fenster für den gleitenden Durchschnitt von 0 (links) und 20 kg N/ha (rechts) auf der Basis der Ertragsdaten zu Winterroggen im Jahr 2016 (Preise für N und Winterroggen: 0,90 €/kg und 140,- €/t)

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der vorgestellte Ansatz liefert auf der Basis empirischer Versuchsdaten und berechneter gemittelter Grenzgewinne ökonomisch optimale N-Düngergaben ohne Annahmen über den Verlauf der Produktionsfunktion zu unterstellen, die vielfach verzerrte und widersprüchliche Ergebnisse liefern. Der vorgestellte Ansatz berücksichtigt den Ertragsverlauf in dem für Landwirte relevanten Bereich besser und ist deutlich einfacher

als etablierte lokale Regressionsverfahren, wie Splines o.ä. [RWC03, Wo17]. Der Ansatz kann insbesondere bei begrenzten Datensätzen in Ergänzung oder alternativ zu Schätzungen auf der Basis von Produktionsfunktionen verwendet werden. Die Wahl eines Intervalls von N-Düngern („Fenster“), das für die Berechnung berücksichtigt wird, bietet Flexibilität, könnte allerdings auch bei zu hohen oder zu niedrigen Werten zu verzerrten Ergebnissen führen. Wir denken dennoch, dass die Wahl eines Bereichs, der für die Berechnung der optimalen N-Düngung herangezogen werden soll, insbesondere für Praktiker leicht festzulegen ist. Durch weitere Auswertung ist noch zu prüfen, inwiefern das Verfahren weniger verzerrte Ergebnisse bildet als die Wahl bestimmter Produktionsfunktionen. Die Algorithmen sind in Excel und Python umgesetzt und in Github[3] und mybinder[4] veröffentlicht. Eine weitere Verwendung ist für die Bewertung von ökonomischen Potenzialen teilflächenspezifischer Düngung denkbar.

Literaturverzeichnis

[Ar17] Arnold, E.: easynls: Easy Nonlinear Model. Version 5.0. https://cran.r-project.org/web/packages/easynls/ Stand: 28.10.2020.

[BG14] Bachmaier, M.; Gandorfer, M.: Estimating Uncertainty of Economically Optimum N Fertilizer Rates. International Journal of Agronomy, Article ID 580294, 2012.

[FW17] Finger, R.; Werner, H.: The Application of Robust Regression to a Production Function Comparison – the Example of Swiss Corn. MPRA Paper No. 4740, 2017.

[He07] Henke, J. et al.: Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. Journal of Agricultural Science 145, 455–468, 2007.

[Mi16] Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MELF) des Landes Brandenburg. https://lelf.brandenburg.de, Stand 28.10.2020.

[MK19] Meyer-Aurich, A. Karatay, Y.N.: Effects of uncertainty and farmers' risk aversion on optimal N fertilizer supply in wheat production in Germany, Agricultural Systems 173, 130-139, 2019.

[RWC03] Ruppert, D.; Wand, M.P.; Carroll, R.J.: Semiparametric regression. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

[SP02] Schabenberger, O.; Pierce, F.J.; Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Sciences. CRC Press, Boca Raton, 2002.

[Wa95] Wagner, P.: Überlegungen zur Modellierung von Produktionsfunktionen. In (Noell,C.; Pohlmann, J.M.): Referate der 16. GIL - Jahrestagung in Kiel 1995. S. 306-312.

[Wo17] Wood, S.N.: Generalized additive models: An introduction with R. Second edition. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2017.

[3] https://github.com/ATB-Potsdam/N_opt_economic
[4] https://mybinder.org/v2/gh/ATB-Potsdam/N_opt_economic/HEAD?filepath=Nopt_xlp.ipynb

Timing of Smartphone Adoption in German Agriculture – Who are the Early Adopters?

Marius Michels[1], Vanessa Bonke[1] und Oliver Mußhoff[1]

Abstract: Smartphones suit several on-farm operational activities and farmers' daily working routine very well due to their mobility, high computing power and ability to install (agricultural) apps as needed. However, no study has yet focused on factors affecting the timing of adoption. Understanding the timing of a technology adoption and identifying characteristics of early and late adopters is consequently of great relevance to further anticipate the innovation diffusion process. The aim of this study is therefore to analyze the timing of smartphone adoption by applying a tobit regression model to a data set of 207 German farmers collected in 2019. Regression results show that, among other factors, farmers' age and risk attitude affect the timing of smartphone adoption.

Keywords: smartphone, timing of adoption, tobit regression, agricultural app, technology adoption

1 Introduction

Smartphones can be described as intelligent mobile devices with computer-like computing capacities, access to mobile internet and equipped with several sensors and camera. Furthermore, apps can be (de-)installed according to the users' needs. Thus, smartphones suit very well farmers' daily working routine due to their mobility, access to mobile internet and multifunctionality. While the adoption of smartphones [Mi20] is already investigated, no study has yet focused on factors affecting the timing of smartphone adoption in agriculture. Timing of adoption or diffusion of agricultural technologies can be understood as a gradual process, which is contingent on farmers and farm characteristics. In line with this, [Wa14] showed that farmers and farm characteristics affect timing of precision agriculture technologies (PAT) adoption. Likewise, it can be expected that farmers and farm characteristics also affect the timing of smartphone adoption. Understanding the timing of a technology adoption and identifying characteristics of early and late adopter is important to further anticipate the diffusion process. The aim of this study is therefore to analyze the timing of smartphone adoption. To do so, we applied a tobit regression model to a data set of 207 German farmers collected in 2019.

[1] Arbeitsbereich Landwirtschaftliche Betriebslehre, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Georg-August-Universität Göttingen, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen, Deutschland. marius.michels@agr.uni-goettingen.de, https://orcid.org/0000-0002-4391-4457, vanessa.bonke@agr.uni-goettingen.de, oliver.musshoff@agr.uni-goettingen.de

2 Hypotheses generation

It can be expected that farmers and farm characteristics play a role in the timing of smartphone adoption in agriculture. As smartphones share characteristics of mobile phones, computers and PAT and can also integrate with PAT [Mi20], we adopted the classification of factors affecting the adoption of PAT by [Pi13]. Based on that classification, we considered competitive and contingent factors (**H9**, **H10**, **H11**, **H12**), socio-demographic factors (**H1**, **H3**, **H5**, **H6a**, **H6b**, **H7**) as well as financial resources (**H2**, **H4**, **H8**) which are most likely to affect the timing of smartphone adoption. In the following, the hypotheses are shown which are the discussed more in-depth in the results section.

- **H1**: A higher farmers' age has a negative effect on the timing of adoption (*Age*)
- **H2**: Being an agricultural contractor has a positive effect on the timing of adoption (*Contractor*)
- **H3**: Holding a university degree has a positive effect on the timing of adoption (*Education*)
- **H4**: Being a full-time farmer has a positive effect on the timing of adoption (*FullTime*)
- **H5**: Being a male farmer has a positive effect on the timing of adoption (*Gender*)
- **H6a**: Having a laptop has a positive effect on the timing of adoption (*Laptop*)
- **H6b**: Having a PC has a positive effect on the timing of adoption (*PC*)
- **H7**: A higher risk aversion has a negative effect on the timing of adoption (*RiskAtt*)
- **H8**: Being the farm manager has a positive effect on the timing of adoption (*Position*)
- **H9**: A farm serving as a training location for agricultural apprentices has a positive effect on the timing of adoption (*Apprentice*)
- **H10**: Managing a conventional farm has a positive effect on the timing of adoption (*Conv*)
- **H11**: A higher farm size in hectares arable land has a positive effect on the timing of adoption (*FarmSize*)
- **H12**: Location of the farm in the south region has negative effect on the timing of adoption (*Region*)

3 Material and methods

In the first quarter of 2019, an online survey addressed to German farmers was conducted. Farmers were invited to participate in the survey using various groups on social media platforms, agricultural online forums and newsletters. Being active in arable farming was a pre-condition to take part in the survey. The survey was divided into two parts: in the first part, farmers were asked to enter information on socio-demographic and farm-related characteristics. In the second part of the survey, the farmers were asked if they have a computer, laptop, mobile phone and smartphone. With respect to smartphone, farmers were also asked since when they used it for agricultural purposes (Variable agricultural smartphone experience (*SmExp*) in years). This variable serves as the dependent variable in the econometric analysis. A left-censored tobit regression model ($SmExp \leq 0$) is applied to the collected data set.

4 Results and discussion

4.1 Descriptive statistics

207 fully completed questionnaires remained as usable records after removing incomplete surveys. 95 % of the farmers in the sample have a smartphone. Smartphone users in the sample reported the use of smartphones for 7.62 years on average. The average farmer in our sample is 39 years old (**H1**), which is younger than the average German farmer with 53 years. 27 % of the farmers work as agricultural contractors beside arable farming (**H2**). With respect to education, 52 % of the farmers in the sample report holding a university degree (**H3**). In German agriculture, 12 % of the farmers hold a university degree. Most farmers in the sample (90 %) work as full-time farmers (**H4**), which also exceeds the German average of 48 % full-time farmers. 6 % of the farmers are female (**H5**), which almost corresponds to the German average of 10 %. 79 % of the farmers in the sample report having a PC and 66 % state they have a laptop at home (**H6**). Risk attitude was measured using the scale developed by [Do11]. A value of 5 on the scale indicates a risk neutral individuum (<5 = risk averse; >5 = risk-seeking). The average farmer of our sample can be considered to be slightly risk neutral with an average value on the scale of 5.42 (**H7**). 66 % of the participants were the actual farm manager followed by the farm successors with a share of 27 % in the sample. Only 4 % were employees and 3 % family labor force (**H8**). 66 % of the farms were a training location for agricultural apprentices (**H9**). Furthermore, 85 % of the farms were farmed as conventional farms (**H10**), which is close to the German average of 89 % conventional farms. Farm size (**H11**) amounts on average to 297.90 hectares of arable land which exceeds the German average of 65 hectares of arable land. Most farms in the sample were located in the region North (37 %) followed by region South (20 %) and region West (20). The least proportion of participants have their farm located in the region East (12 %) (**H12**).

4.2 Tobit regression results

To control for multicollinearity, variance inflation factors (VIFs) were estimated before running the tobit model. VIFs < 5 indicate that multicollinearity is no threat for the model. None of the estimated VIFs exceed the value of 5 (mean VIF = 1.19; max. 1.55). The coefficients, robust standard errors as well as marginal effects in years and corresponding significance levels are given in Table 1. Further goodness-of-fit characteristics and explanations are given below Table 1.

Tab. 1: Tobit results for the timing of smartphone adoption (N = 207) [a]

H_0	Variable	Coefficient	Robust SE	ME	p-Level	Support H_0?
Farmer characteristics						
H1	*Age*	-0.105	0.021	-0.104***	<0.001	Yes
H2	*Contractor*	0.828	0.390	0.821**	0.034	Yes
H3	*Education*	-0.520	0.412	-0.516	0.208	No
H4	*Full-time*	-1.591	0.686	-1.577**	0.020	No
H5	*Gender*	2.001	0.957	1.984**	0.036	Yes
H6a	*Laptop*	0.348	0.398	0.345	0.382	No
H6b	*PC*	0.025	0.407	0.251	0.950	No
H7	*RiskAtt* [b]	0.235	0.107	0.233**	0.029	Yes
H8	*Position* [c]					No
	FarmSuccessor	0.456	0.510	0.453	0.372	
	FamilyLaborForce	-0.293	0.716	-0.290	0.682	
	Employee	-1.131	0.998	-1.115	0.254	
Farm characteristics						
H9	*Apprentice*	0.864	0.468	0.857*	0.065	Yes
H10	*Conv*	0.823	0.540	0.816	0.128	No
H11	*FarmSize*	0.0007	0.0003	0.0007*	0.058	Yes
H12	*Region* [d]					Yes
	North	0.923	0.437	0.916**	0.035	
	West	-0.082	0.487	-0.081	0.865	
	East	0.353	0.729	0.350	0.628	

[a] Dependent variable *SmExp*; F (17, 190) = 5.67, p < 0.001; Log pseudolikelihood = -474.088; Cox-Snell Pseudo R^2 = 0.305; Nagelkerke Pseudo R^2 = 0.307; McFadden Pseudo R^2 = 0.073;
[b] Risk attitude measure on the scale developed by Dohmen et al. (2011) with 0 – < 5 = risk-averse, 5 = risk neutral, > 5 – 10 = risk-seeking
[c] Farm manager was set as the base category
[d] South was set as the base category
*p < 0.1; **p < 0.05; ***p < 0.01; SE = Standard error, ME = Marginal effect

The model supports **H1** since the marginal effect for the variable *Age* is statistically significant and negative (ME = -0.104; $p < 0.001$). The results suggest that older farmers adopt a smartphone later than younger farmers. With respect to the aim of the study, it can also be concluded that younger farmers have a higher interest in adopting a smartphone at an earlier stage than older farmers. The result also suggests that older farmers may face barriers in the adoption and use of smartphones since they may have fewer digital skills to work properly with smartphones than their younger counterparts. **H2** is supported by the model. The statistically significant marginal effect and the positive sign for the variable *Contractor* (ME = 0.821; $p = 0.034$) suggest that if a farmer is an agricultural contractor besides arable farming, he or she adopts a smartphone almost one year earlier than a farmer who is not an agricultural contractor. The result is plausible since this farmer is maybe in contact with several customers and also maybe has to organize his employees for which a smartphone can be used to a greater extent than a normal mobile phone. The variable **Education** has no statistically significant effect on the timing of adoption and the marginal effect has not the expected positive sign (ME = -0.516; $p = 0.208$). Hence, **H3** is given no support by the model. The marginal effect of the variable *FullTime* is statistically significant but has not the expected positive sign (ME = -1.577; $p = 0.020$). Therefore, no support can be given to **H4**. A positive effect was expected, since a full-time farmer has less competition for his time and might benefit the most from several smartphone function during day-to-day farming operations. **H5** is supported by the model since the marginal effect for the variable *Gender* is statistically significant and has the expected positive sign (ME = 1.984; $p = 0.036$). According to our results, a male farmer adopts a smartphone two years earlier than his female counterpart. The model shows no support for **H6a** and **H6b**. While the marginal effects have the expected positive sign, the marginal effects for the variable *Laptop* (ME = 0.345; $p = 0.382$) and *PC* (ME = 0.251; $p = 0.950$) are not statistically significant. The marginal effect of the variable *RiskAtt* is statistically significant and has the expected positive sign (ME = 0.233; $p = 0.029$). Hence, **H7** is supported. Adoption of new technology like smartphones at an earlier stage comes with several risks for instance unknow compatibility to the expected field of application or not comprehensively covered issues with data security and safety. Therefore, a risk-seeking farmer is more inclined to adopt a smartphone at an earlier stage. To analyze the effect of farmers' position in the agricultural holding on the timing of smartphone adoption, being the farm manager was set as the base category in the econometric analysis. However, the marginal effects for the variables *FarmSuccessor* (ME = 0.453; $p = 0.372$), *FamilyLabourForce* (ME = -0.290; $p = 0.682$) and *Employee* (ME = -1.115; $p = 0.254$) are not statistically significant. Hence, **H8** can be given no support by the model. **H9** is given support by the results for the tobit model. The marginal effect of the variable *Apprentice* has the expected positive sign and is statistically significant (ME = 0.857; $p = 0.065$). Hence, farmers who are training apprentices adopt a smartphone one year earlier than farmers who are not participating in the training of young farmers. Agricultural trainers might become aware of smartphone technology for agricultural purposes and therefore adopt them earlier than other farmers. The model does not support **H10**. The marginal effect of the variable *Conv* is not statistically significant despite having the expected positive sign (ME = 0.816; $p = 0.128$). **H11** is supported by the model since the marginal effect for the variable *FarmSize* is statistically

significant and has the expected positive sign (ME = 0.0007; p = 0.058). However, it should be clearly stated that the marginal effect on the timing of adoption is very small. On a larger scale, an increase in 1,000 hectares of arable land only results in earlier smartphone adoption by 0.7 year. To analyze the effect of farm' location on the timing adoption, Germany was divided into four regions and region South was set as the base category. Therefore, the results have to be interpreted in relationship to the base category. The results show that farmers living in the northern region of Germany adopt a smartphone 0.916 years earlier than a farmer residing in the southern regions. The marginal effect in this case is statistically significant (ME = 0.916; p = 0.035). No statistically significance is found between southern and eastern as well as southern and western farmers since the marginal effects for the variable *West* (ME = -0.081; p = 0.865) and *East* (ME = 0.350; p = 0.280) are not statistically significant. Hence, **H12** is partly supported.

5 Concluding remarks

The main goal of this study was to gain knowledge about factors influencing the timing of smartphone adoption in agriculture. To this end, a sample of 207 German farmers was collected in the first quarter of 2019. A left-censored tobit regression model was estimated to identify farmers and farm characteristics affecting the timing of adoption. Several implications for agricultural policy makers, agricultural extension services as well as providers and sellers of smartphone and agricultural apps could be given. Since the location of the farm plays a role in timing of smartphone adoption, policy makers are encouraged to put more emphasize in mobile network expansion. Furthermore, aspects of digitalization should be included more in-depth in the training of farmers, especially in training programs for farmers who participate in the training of young farmers. Agricultural extension series should consider that older, female, risk-averse farmers may face barriers in the adoption. Likewise, agricultural extension services as well as providers and sellers of smartphones and agricultural apps should strive for the clarification of risks associated with the use of smartphones for business purposes.

References

[Do11] Dohmen et al.: Individual risk attitudes: Measurement, determinants, and behavioral consequences. Journal of the European Economic Association, Vol. 9 (3), pp. 522-550, 2011.

[Mi20] Michels et al.: Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from Germany. Precision Agriculture, Vol. 21 (2), pp. 403-425, 2020.

[Pi13] Pierpaoli et al.: Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. Procedia Technology, Vol. 8, pp.- 61-69, 2013.

[Wa14] Watcharaanantapong et al.: Timing of precision agriculture technology adoption in US cotton production. Precision Agriculture, Vol. 15(4), pp. 527-446, 2014.

Teilflächenspezifische N-Bilanzen auf Ackerschlägen – Einfluss von Bodenheterogenität und Methoden der Ertragserfassung

Martin Mittermayer[1], Johannes Schuster[1], Ludwig Nätscher[1], Franz-Xaver Maidl[1] und Kurt-Jürgen Hülsbergen[1]

Abstract: Die räumliche Variabilität von Bodeneigenschaften auf Ackerflächen bedingt ein unterschiedliches Pflanzenwachstum auf Teilflächen. Auf der Grundlage von Mähdrescher-, Sensor- und Satellitendaten wurden in dieser Arbeit teilflächenspezifische Erträge, N-Entzüge und N-Bilanzen analysiert. Durch die Bestimmung von georeferenzierten Bodenparametern (C_{org}, N_t) wurden Einflussfaktoren auf die variierenden Pflanzenparameter geprüft. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass a) die Erträge und N-Bilanzen auf den Untersuchungsflächen große Schwankungsbreiten aufweisen und Teilflächen mit sehr hohen N-Salden auftreten, die bei einer schlageinheitlichen Bilanzierung nicht sichtbar werden, und b) die angewandten digitalen Technologien für die Bestimmung von Ertrag, N-Entzug und N-Saldo geeignet sind, aber noch Verbesserungspotenzial in der Genauigkeit zeigen. Die C_{org}- und N_t-Gehalte der Teilflächen sind positiv mit dem Ertrag und N-Entzug sowie negativ mit den N-Salden korreliert.

Keywords: precision agriculture, spatial variability, nitrogen surplus, geostatistics

1 Einleitung

Ackerbaulich genutzte Böden zeigen eine mehr oder weniger große Variabilität von ertragsrelevanten Eigenschaften wie Textur, Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit aufgrund ihrer Entstehung, durch Bodenverlagerung in Erosionsprozessen oder differenzierte Nutzung (Br02). Mit den kleinräumig wechselnden Bodeneigenschaften variieren Ertragspotenziale, Biomasse- und Ertragsbildung sowie die N-Aufnahme von Pflanzenbeständen in Ackerflächen (Hü17). Wenn die N-Düngung auf heterogenen Schlägen einheitlich erfolgt, kann das dazu führen, dass (a) im Hochertragsbereich das Ertragspotenzial nicht ausgeschöpft wird und (b) im Niedrigertragsbereich hohe N-Salden und Nitratverluste auftreten, ggf. auch Stickstoff im Boden akkumuliert wird [Hü17]. Mit einer teilflächenspezifischen N-Bilanzierung können die tatsächlichen umweltrelevanten N-Verluste genauer quantifiziert werden. Voraussetzung für die teilflächenspezifische N-Bilanzierung ist die Verfügbarkeit georeferenzierter Daten zur N-Düngung, zu Erträgen und N-Entzügen. So können z.B. Daten traktormontierter Reflexionssensoren [MSH04], Satellitendaten [MB09] und Mähdrescher mit einer integrierten Ertragserfassung [St02]

[1] Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising, martin.mittermayer@tum.de, johannes.schuster@tum.de, ludwig.naetscher@tum.de, maidl@wzw.tum.de, kurt.juergen.huelsbergen@tum.de

zur Berechnung der Biomasse und N-Aufnahme von Pflanzenbeständen genutzt werden. Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der räumlichen Variabilität von Erträgen, N-Entzügen und N-Salden auf heterogenen Ackerschlägen auf der Grundlage georeferenzierter Pflanzen- und Bodenparameter auf der Grundlage von Mähdrescher-, Sensor- und Satellitendaten.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerfassung

Die für die Untersuchungen notwendigen Boden- und Pflanzenparameter wurden in den Jahren 2018 und 2019 auf den Ackerflächen „Itzling“ (4,7 ha; 2018) in Dürnast (Landkreis Freising) und „Hofacker“ (4,2 ha; 2019) in Hohenthann (Landkreis Landshut) bestimmt. Die untersuchten Böden sind Cambisole. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981 bis 2010) wurden in den Untersuchungsjahren geringere Jahresniederschläge und höhere Durchschnittstemperaturen gemessen.

Die Untersuchungen wurden in Winterweizen durchgeführt. Zur Erfassung der Variabilität der Pflanzenparameter (Ertrag) wurden Mähdrescher mit Volumenstrommessung, traktormontierte Sensordaten (Reflexionsmessung, REIP) und Satellitendaten (Reflexionsmessung, NDVI) verwendet. Zur Erfassung der Variabilität von Bodeneigenschaften wurden georeferenzierte Bodenproben gezogen (Itzling 48 Punkte, Hofacker 40 Punkte) für die Laboranalyse des Gehalts an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamt-Stickstoff (N_t).

2.2 Datenanalyse

Die Daten wurden in Raster gleicher Auflösung (10 m x 10 m) durch Interpolation mit dem Kriging-Verfahren [Ma63] überführt. Im Anschluss wurde eine Korrelationsanalyse basierend auf den Rasterelementen durchgeführt, um Beziehungen zwischen den untersuchten Boden- und Pflanzenparametern zu prüfen. Für räumliche Operationen und das Laden von Vektor- oder Rasterdateien wurden die R-Bibliotheken rgdal, rgeos und raster genutzt. Mit N-Bilanzen wurde der N-Saldo (kg ha^{-1} a^{-1}) bestimmt:

$$\text{N-Saldo} = \text{N-Input} - \text{N-Output} \quad (1)$$

Der N-Input ist die Mineral-N-Menge für Winterweizen, die auf den Untersuchungsflächen schlageinheitlich appliziert wurde (Itzling 182 kg ha^{-1}, Hofacker 209 kg ha^{-1}). Der N-Output entspricht dem Korn-N-Entzug. Der N-Entzug wurde bestimmt durch (a) Kornertrag nach Volumenstrommessung am Mähdrescher, multipliziert mit dem N-Gehalt im Korn aus Biomassehandschnitten, (b) Kornertrag nach Satellitendaten (NDVI) und PROMET-Modell (MB09) multipliziert mit dem N-Gehalt im

Korn aus Biomassehandschnitten und (c) über Reflexionsmessungen mit einem traktormontierten Sensor, Berechnung des Vegetationsindex REIP und Verwendung eines Algorithmus zur Schätzung der N-Aufnahme [Ma19].

3 Ergebnisse

3.1 Räumliche Variabilität der Pflanzen- und Bodenparameter

Die Ergebnisse zeigen, dass die verwendeten Analysemethoden zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führen können (Tab. 1, 2). Während auf dem Schlag „Hofacker“ die mittleren Kornerträge gut übereinstimmen, wurden auf dem Schlag „Itzling“ bedeutende Abweichungen zwischen Mähdrescher-, Satelliten- und Sensordaten festgestellt.

Parameter	Datenquelle	Einheit	Mittel	Min	Max	Sd
C_{org}-Gehalt	Bodenproben	%	1,48	1,21	2,22	0,15
N_t-Gehalt	Bodenproben	%	0,16	0,11	0,23	0,10
Kornertrag*	Mähdrescher	t ha^{-1}	9,2	6,5	12,4	1,4
Kornertrag*	Satellit	t ha^{-1}	6,5	3,2	9,1	1,2
Kornertrag*	Sensor	t ha^{-1}	7,6	3,9	12,2	1,2
N-Saldo	Mähdrescher	kg ha^{-1}	15,8	-36,3	76,7	22,8
N-Saldo	Satellit	kg ha^{-1}	75,6	35,3	130,1	19,2
N-Saldo	Sensor	kg ha^{-1}	10,0	-93,7	92,5	28,6

Tab. 1: Pflanzen- und Bodenparameter auf Schlag Itzling (4,7 ha), *Winterweizen (2018)

Parameter	Datenquelle	Einheit	Mittel	Min	Max	Sd
C_{org}-Gehalt	Bodenproben	%	1,28	0,96	1,75	0,20
N_t-Gehalt	Bodenproben	%	0,12	0,09	0,17	0,02
Kornertrag*	Mähdrescher	t ha^{-1}	9,0	4,7	12,9	1,7
Kornertrag*	Satellit	t ha^{-1}	8,8	6,6	10,3	0,8
Kornertrag*	Sensor	t ha^{-1}	8,9	3,2	14,0	1,2
N-Saldo	Mähdrescher	kg ha^{-1}	59,6	-4,3	130,4	28,0
N-Saldo	Satellit	kg ha^{-1}	66,0	39,7	100,7	13,2
N-Saldo	Sensor	kg ha^{-1}	61,0	-22,2	155,3	20,7

Tab. 2: Pflanzen- und Bodenparameter auf Schlag Hofacker (4,2 ha), *Winterweizen (2019)

Die untersuchten Bodenparameter (C_{org}- und N_t-Gehalt) weisen ebenfalls eine hohe räumliche Variabilität auf und zeigen zudem ähnliche Verteilungsmuster (Abb.1, 2). In den Zonen mit hohen C_{org}- und N_t-Gehalten wurden die höchsten N-Entzüge und niedrigsten N-Salden gemessen.

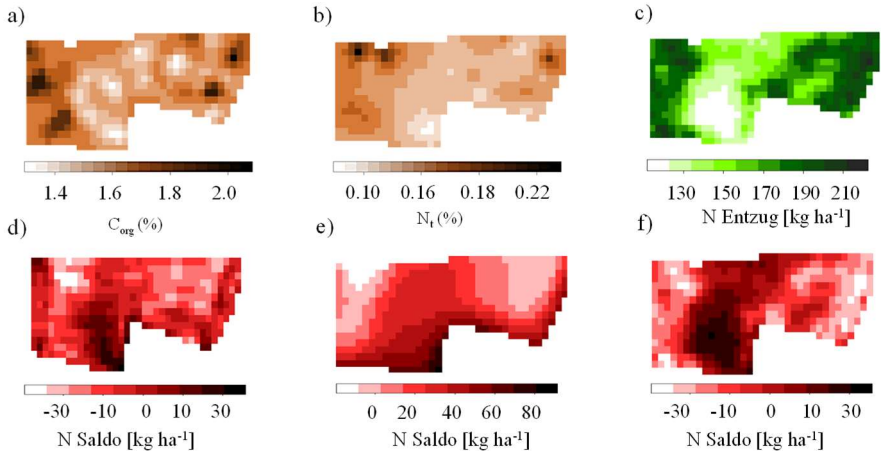


Abb. 1: Schlag Itzling (4,7 ha), räumliche Verteilung (10 x 10 m Raster): a) C_{org}-Gehalt, b) N_t-Gehalt, c) N-Entzug (Sensor), d) N-Saldo (Mähdrescher), e) N-Saldo (Satellit) f) N-Saldo (Sensor)

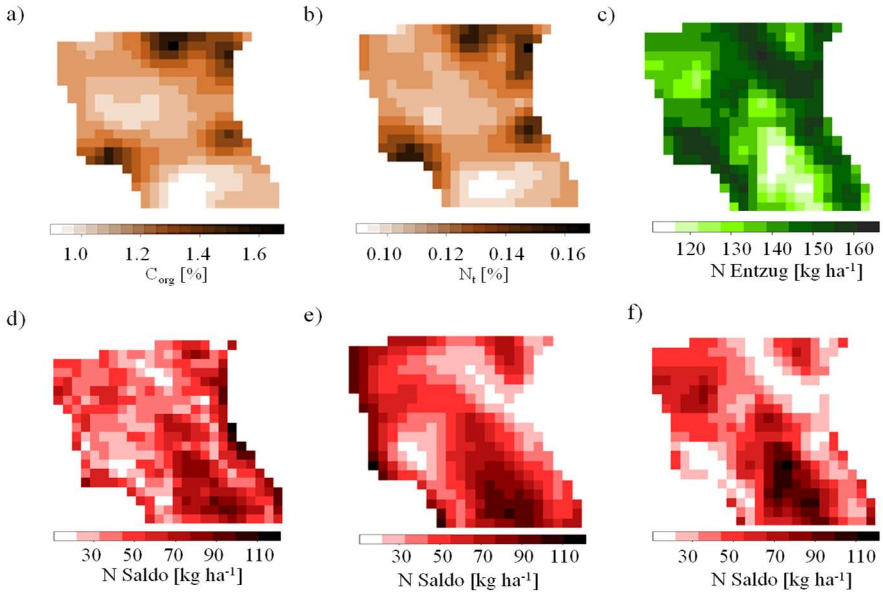


Abb. 2: Schlag Hofacker (4,2 ha), räumliche Verteilung (10 x 10 m Raster): a) C_{org}-Gehalt, b) N_t-Gehalt, c) N-Entzug (Sensor), d) N-Saldo (Mähdrescher), e) N-Saldo (Satellit) f) N-Saldo (Sensor)

3.2 Korrelationen zwischen Pflanzen- und Bodenparametern

Auf den untersuchten Ackerschlägen wurden zwischen den C_{org}- bzw. N_t -Gehalten negative Beziehungen mit den N-Salden nach Mähdrescher, Satelliten- und Sensordaten ermittelt (Tab. 3, 4). Je höher der C_{org}- und N_t-Gehalt, desto niedriger die N-Salden.

Mit dem Sensor wurden die höchsten Korrelationen mit den Bodenparametern ermittelt, mit dem Mähdrescher die niedrigsten. Die angewandten digitalen Technologien zeigen mittlere Korrelationen zueinander. Auf der Ackerfläche „Itzling“ wurden Beziehungen von r = 0,51 bis 0,62 berechnet und auf der Ackerfläche „Hofacker von r = 0,39 bis 0,69.

r	N_t	Ertrag (Mähdrescher)	N-Saldo (Mähdrescher)	N-Saldo (Satellit)	N-Saldo (Sensor)
C_{org}	0,91	0,37	-0,37	-0,54	-0,58
N_t		0,39	-0,39	-0,54	-0,52
N-Saldo (Mähdrescher)				0,62	0,51
N-Saldo (Satellit)					0,53

Tab. 3: Korrelationsmatrix Schlag Itzling

r	N_t	Ertrag (Mähdrescher)	N-Saldo (Mähdrescher)	N-Saldo (Satellit)	N-Saldo (Sensor)
C_{org}	0,96	0,10	-0,10	-0,48	-0,62
N_t		0,11	-0,11	-0,45	-0,52
N-Saldo (Mähdrescher)				0,39	0,54
N-Saldo (Satellit)					0,69

Tab. 4: Korrelationsmatrix Schlag Hofacker

4 Diskussion

Unter den Witterungsbedingungen der Jahre 2018 und 2019 wurde eine große Variabilität der Erträge und N-Entzüge aufgrund kleinräumig wechselnder Bodeneigenschaften festgestellt. Die Untersuchungen zeigen eine hohe Variabilität der N-Salden auf

einheitlich gedüngten Schlägen. Das bedeutet, dass auch bei einer ausgeglichenen N-Bilanz umweltrelevante N-Verluste auf Teilflächen auftreten können. Dies wird an den räumlich variablen N-Salden (nach Sensordaten) von -93 bis 92 kg ha^{-1} auf den Schlag Itzling und -22 bis 155 kg ha^{-1} auf dem Schlag Hofacker deutlich. Die Teilflächen mit hohen N-Salden und einer hohen N-Verlustgefährdung werden bei schlageinheitlichen Bilanzrechnungen nicht sichtbar. Übereinstimmend auf den Schlägen haben der C_{org}- und N_t-Gehalt einen positiven Einfluss auf den Ertrag und N-Entzug, sie korrelieren negativ mit den N-Salden.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass bei hohen N-Salden in Niedrigertragszonen ein erhebliches Dünger-Einsparpotenzial besteht und heterogene Ackerflächen teilflächenspezifisch gedüngt werden sollten. Der Vergleich der mit unterschiedlichen Methoden ermittelten Ergebnisse belegt, dass die digitalen Technologien für die teilflächenspezifische Bestimmung von Ertrag, N-Aufnahme und N-Saldo grundsätzlich geeignet sind. Die Genauigkeit der Methoden kann aber weiter verbessert werden, z. B. durch die Verwendung von NIRS-Sensoren an Mähdreschern zur Proteingehaltsbestimmung sowie durch verbesserte Algorithmen und Modelle bei der Verwendung von Sensor- und Satellitendaten.

Literaturverzeichnis

[Br02] Brinkmann, Johannes (2002): Räumliche Variabilität von Böden und Bodeneigenschaften auf dem Landwirtschaftlichen Versuchsgut Frankenforst im Pleiser Hügelland; verfügbar unter: http://hss.ulb.uni-bonn.de/2002/0118/0118.pdf

[Hü17] Hülsbergen, Kurt-Jürgen; Maidl, Franz-Xaver; Forster, Felix; Prücklmaier, Josef (2017): Minderung von Nitratausträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement. am Beispiel der Gemeinde Hohenthann (Niederbayern) mit intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung. Forschungsbericht, Technische Universität München.

[Ma63] Matheron, Georges (1963): Principles of geostatistics. In: *Economic Geology* 58 (8), S. 1246–1266.

[Ma19] Maidl, Franz-Xaver; Spicker, Andreas; Weng, Jonas; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2019): Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten. In A. Meyer-Aurich et al.: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2019 131-134.

[MB09] Mauser, Wolfram; Bach, Heike (2009): PROMET – Large scale distributed hydrological modelling to study the impact of climate change on the water flows of mountain watersheds, *Journal of Hydrology* 376 (3-4), S. 362-377.

[MSH04] Maidl, F.-X; Schächtl, J.; Huber, G. (2004): Strategies for Site-Specific Nitrogen Fertilization on Winter Wheat. In: *MULLA, D.J. (ED), Precision Agriculture 2004, Proc. 7. Int. Conf. On Prec. Agriculture, Minnesota/USA*, S. 1938–1948.

[St02] Steinmayr, Thomas (2002): Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung, Dissertation Weihenstephan.

Dissemination of precision farming technologies in Austria in the context of energy savings potential

A survey on the mechanization of Austrian arable farms

Viktoria Motsch [1], Lukas Hauser[1], Julia Schuster[1], Alexander Bauer[1], Thomas Bauer[2], Mathias Brunner[3], Norbert Barta[1] and Andreas Gronauer[1]

Abstract: The usage of precision farming technology can be a key factor in reducing greenhouse gas emissions in agricultural processes. In particular, automatic steering systems as well as automatic section control systems are two of the main contributors for the energy savings potential in agriculture. In order to estimate this potential for Austria, the degree of mechanization and the local agricultural structure have to be considered. An online survey was used to determine the extent of these factors, with more than 1000 arable farms participating in the two and a half months of the survey. Approximately one-third of those surveyed stated that a steering system is in use, while RTK systems are only used by just over a fifth of the farms. Further, while more than half of the farms already use section control in sowing and fertilization, only around 15 % of them use satellite-supported section control. These findings imply a considerable savings potential.

Keywords: energy savings potential, automatic steering, section control, survey

1 Introduction

In accordance with the sustainable development goals (SDGs) [UN15], Austria has committed itself to reducing its greenhouse gas emissions by 36 % by 2030 compared to 2005 [BK20]. In order to fulfill this global climate commitment, contributions from the agricultural sector are necessary, as it affects greenhouse gas emissions both directly and indirectly. The usage of precision farming technology, in particular automatic steering systems as well as automatic section control systems, can have a major influence on the reduction of greenhouse gas emissions by contributing to the energy savings potential in agricultural processes [As18,Ve13]. Both automatic steering systems and automatic section control systems achieve this by their ability to reduce agricultural inputs. Further,

[1] Universität für Bodenkultur, Institut für Landtechnik, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich, viktoria.motsch@boku.ac.at, https://orcid.org/0000-0002-4860-4247; lukas.hauser@students.boku.ac.at, j.schuster@boku.ac.at, alexander.bauer@boku.ac.at, norbert.barta@boku.ac.at, andreas.gronauer@boku.ac.at
[2] Universität für Bodenkultur, Institut für Geomatik, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich, t.bauer@boku.ac.at
[3] Maschinenring NÖ-Wien, Mold 72, 3580 Horn, mathias.brunner@maschinenring.at

site-specific applications better target those inputs to the specific spatial and temporal needs of the fields, resulting in lower greenhouse gas emissions as well as in increased farm productivity and economics [Ba17]. Additionally, the automatic steering systems also directly influence the energy savings potential due to reduced fuel consumption. However, the actual potential for a reduction of greenhouse gas emissions is influenced by many factors including the degree of mechanization as well as the region-specific agricultural structure. The agricultural structure in Austria is – on a global perspective – distinctly different from other areas. Still, even sub-regions in Austria differ quite strongly in their agricultural structure, meaning in particular field shapes and total farm area [AM19]. Further, the actual dissemination and usage, i.e. the degree of mechanization, is affected by regional variations. Here, we present the results of a survey conducted online to determine the degree of mechanization of Austrian arable farms, which provides necessary information in order to estimate the energy savings potential of precision farming technology in Austria.

2 Material and methods

2.1 Data collection

Data on Austrian arable farms were collected using an online questionnaire with Lime Survey (version 3.21) [Li19]. In particular, key metrics on mechanization and agricultural structure were enquired. This included on the one hand various parameters on the farm as well as the farmer (e.g. farm location in Austria, farm size and its distribution according to use, crop cultivation, organic farming, age of the farmer) and on the other hand the use of machinery and precision farming technologies (e.g. machinery, automatic steering and usage of a correction signal via satellite, working width, section control). In January 2020, the survey link was distributed via the relevant agricultural media in Austria and the Chambers of Agriculture of the federal provinces. Further, the project partner Maschinenring included a solicitation for participation in the survey in its newsletter to its member farms in Lower Austria. This advertisement resulted in a response of 1229 questionnaires by March 2020 of which 732 were completed in full and 497 at least partially.

In order to correlate the obtained data to Austrian agricultural structures, data on farm sizes and number of farms per federal province were obtained from Statistics Austria as well as from the Green Report 2018 and 2019 [Bu19].

2.2 Data analysis

For data analysis, the Python programming language [VD09] was used. The dataset was filtered for input errors and outlier/non-plausible answers. Further, answers were only

included if arable land was stated. This resulted in 785 answers being included in the analysis.

3 Results

The quantity of survey completions indicates that almost 2 % of the Austrian arable farmers completed the survey. Further, an area share of more than 4 % of the total Austrian arable area is included. Consequently, the farm size in this analysis is above the Austrian average farm size.

3.1 Automatic steering

For automatic steering systems, the energy savings potential is primarily achieved by the reduction of overlap on consecutive tracks in cultivation and seeding, since 5 to 8 % of the technical working width remain unused in manual steering systems [La09, Re12, Fa18]. By using satellite navigation, this overlap can be reduced leading to a reduction in working time, fuel consumption as well as resources used. In order to achieve sufficient accuracies for agricultural processes, satellite navigation needs to be enhanced using correction signals. Using real time kinematic (RTK) systems, positions can be determined up to 2 cm leading to a substantial reduction of the overlapping area. In contrast, freely available correction signals of lesser quality only show a minor energy savings potential compared to manual steering systems.

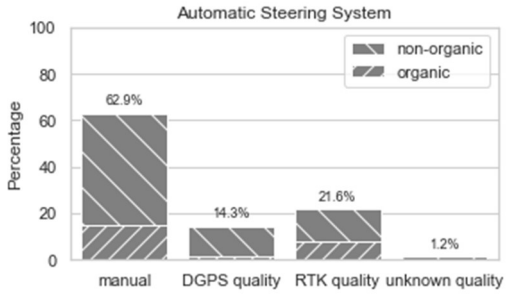


Fig. 1: Dissemination of automatic steering systems and the used correction signals (differential GPS, RTK, unknown) among the survey respondents. 37.1% of farms use automatic steering systems, with over half of them stating the integration of RTK correction signals. Hatches indicate the subdivision into organic and non-organic farming in each category

Fig. 1 shows that 37.1 % of those surveyed stated that they are already using an automatic steering system in contrast to manual steering. However, only half of them are using a fully automated steering system, i.e. a system that is fully integrated into the tractor (data not shown). Further, RTK systems are only used by 21.6 % of the farmers surveyed. This finding alone indicates a notable energy savings potential.

In order to investigate this further, the dissemination of automatic steering systems and the used correction signals (differential GPS, RTK, unknown) was analyzed with respect to different surveyed parameters. Whereas the age of the farmer had no significant influence on the usage of automatic steering systems, an influence of the farm size, i.e. the stated arable land, on the usage of automatic steering systems and the used correction signal could be observed with larger farm sizes being more likely to use automatic steering systems (see Tab. 1).

Arable land	manual	DGPS quality	RTK quality	Unknown quality
< 5 ha	17	0	1	0
5 – 10 ha	23	0	1	0
10 – 20 ha	67	4	1	0
20 – 30 ha	45	5	5	3
30 – 50 ha	104	15	21	1
50 – 100 ha	131	30	57	3
100 – 200 ha	31	34	42	1
> 200 ha	7	9	18	0

Tab. 1: Dissemination of automatic steering systems and the used correction signals (differential GPS, RTK, unknown) among the survey respondents with respect to the stated arable land

Further, the usage of automatic steering systems and the used correction signal showed also a significant correlation with the implementation of organic farming practices (see Fig. 1). Survey participants using an automatic steering system with RTK or unknown corrections signals reported being organic farmers in 35.67 % and 37.56 % of the cases, respectively. In contrast, survey respondents using manual steering or an automatic steering system with a differential GPS correction reported lower numbers, 23.80 % and 10.32 %, respectively.

3.2 Section control

Next to the usage of automatic steering systems, the use of section control systems, e.g. the deactivation of nozzle segments or the variation of spreading patterns, can also contribute to the energy savings potential in agricultural processes. This holds true in particular for precision farming applications with large working widths as are common in plant protection or fertilization. Using section control systems, areas smaller than one working width as well as non-rectangular and oblique-shaped fields can be cultivated with minimal overlap or underlap.

Asked for practices in sowing and fertilization, 55.5 % and 52.3 % of the survey respondents reported the usage of section control systems, respectively (see Fig. 2). However, only approximately 14.2 % and 15.8 % of those section control systems are used

automatically, i.e. supported by satellite navigation, respectively, in contrast to manual systems. This finding indicates that the implementation of automatic, satellite-supported section control systems offers a feasible energy savings potential.

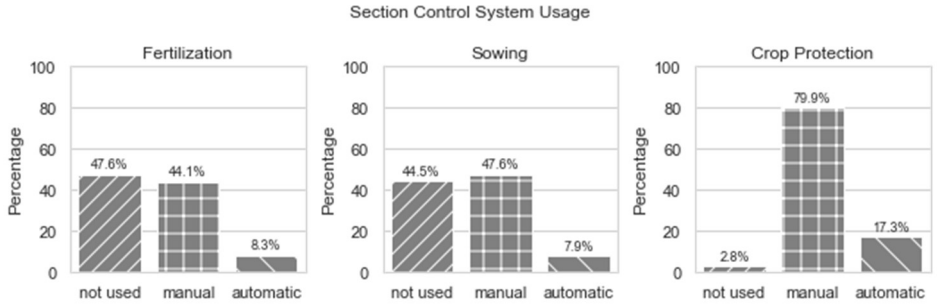


Fig. 2: The usage of section control systems for sowing, fertilization and crop protection among the participating farms

In contrast to sowing and fertilization, 97.2 % of survey respondents stated the usage of section control systems in crop protection (see Fig. 2). However, only 17.8 % of those operated in an automatic fashion. This percentage of satellite-supported systems used in crop protection is similar compared to its usage in sowing and fertilization processes.

4 Discussion and outlook

The presented results show that the dissemination of automatic steering systems and section control systems in Austrian arable farms has not reached its full capacity implicating that further distribution of these precision farming technology would lead to reduction of greenhouse gas emissions. However, the obtained average farm size of the survey is above the average Austrian farm size, which suggests that the degree of mechanization is most likely overestimated in our results. This would indicate an even higher energy savings potential.

Next to direct effects such as the reduction of fuel usage, also a considerable amount of energy used for fertilizer production can be saved. In order to determine more precise decision criteria, the greenhouse gas potential and further environmental effects such as eutrophication and acidification of the soil need to be taken into account in addition to the energy considerations. This information can be obtained by using the method of Life Cycle Assessment (LCA) on the collected data.

It is important to note that the probed measures and practices to reduce energy saving do not necessarily affect farm productivity and economics negatively as this would limit its implementation. This consideration, together with further influential parameters such as tracklength, turns or dead track, and the yet unknown contribution of indirect

environmental effects make estimating the exact amount of possible savings a challenging task, which is going to be the subject of subsequent research.

Acknowledgements: The survey is part of the Maschinenring Cluster Projects and was implement in cooperation with the Maschinenring Niederösterreich – Wien. The project is funded by the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Regions and Tourism (BMLRT), the federal provinces and the European Union in the program LE 14-20.

References

[AM19] AMA, Agrarmarkt Austria: INVEKOS Feldstücke Österreich 2019, https://www.data.gv.at/katalog/dataset/19b8d43f-4666-4a8c-98ef-c059fff9f192.

[As18] Ashworth, A.J.; Lindsay, K.R.; Popp, M.P.; Owens, P.R.: Economic and environmental impact assessment of tractor guidance technology. Agricultural & Environmental Letters, 3(1), pp.1-5., 2018.

[Ba17] Balafoutis, A.; Beck, B.; Fountas, S.; Vangeyte, J.; Wal, T.V.D.; Soto, I.; Gómez-Barbero, M.; Barnes, A.; Eory, V.: Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. Sustainability, 9(8), p.1339, 2017.

[BK20] BKA; BMEIA: Austria and the 2030 Agenda – Voluntary National Review - Report on the Implementation of the Sustainable Development Goals, Vienna, 2020

[Bu19] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus: Grüner Bericht 2019, Wien, 2019.

[Fa18] Fassler, M.: Verfahrenstechnische Bewertung des manuellen und automatischen Lenksystems im Grünland und Ackerbau, Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landtechnik, 2018.

[La09] Landerl, G.: Untersuchungen zum Nutzen und zu Genauigkeiten von GPS-gestützten Parallelfahrsystemen (Lenkhilfe, Lenkassistent und Lenkautomat) bei Traktoren, Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landtechnik, 2009.

[Li19] Limesurvey GmbH: An Open Source survey tool. Hamburg, Germany. http://www.limesurvey.org, 2017.

[Re12] Reckleben, Y. N.; Ole, P.: RTK-Netzwerke zur flächendeckenden hochgenauen Positionsbestimmung in der Landwirtschaft. Landtechnik, 67(3), 162-165, 2012.

[UN15] United Nations Sustainable Development Goals, https://sdgs.un.org/, Visited: 06.11.2020.

[VD09] Van Rossum, G., and Drake, F. L. Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace. 2009.

[Ve13] Velandia, M.; Buschermohle, M.; Larson, J.A.; Thompson, N.M.' Jernigan, B.M.: The economics of automatic section control technology for planters: A case study of middle and west Tennessee farms. Computers and electronics in agriculture, 95, pp.1-10., 2013.

Wissensverarbeitung in der Landwirtschaft mit regelbasierten Inferenzsystemen und Begründungsverwaltung

Nils Niemann[1], Christoph Tieben[1], Kai Lingemann[1] und Joachim Hertzberg[1]

Abstract: In der modernen landwirtschaftlichen Praxis existieren eine große Menge an Expertenwissen sowie Informationen und Regularien zu komplexen Prozessen, welche ein Landwirt zur Entscheidungsfindung berücksichtigen muss. Durch ein regelbasiertes Inferenzsystem, welches die Möglichkeit bietet, Wissen zu modellieren und automatisch Schlussfolgerungen zu ziehen und bei Bedarf zurückzuziehen, sollen die Landwirte bei dessen Anwendung unterstützt werden.

Keywords: Wissensverarbeitung, Entscheidungsunterstützungssystem, RETE, automatische Schlussfolgerung

1 Einleitung

Durch die Verknüpfung von sowohl semantischen als auch geometrischen/geographischen Daten in einem regelbasierten Inferenzsystem soll die Entwicklung von Entscheidungsunterstützungssystemen ermöglicht werden, in denen diese vielfältigen Wissensquellen zusammenfließen. Dadurch kann der Landwirt dabei unterstützt werden, umfassenden Nutzen aus dem vorhandenen Wissen zu ziehen. Mögliche Anwendungsszenarien finden sich beispielsweise in teilflächenspezifischen Anbaustrategien (Düngen, Pflanzenschutz, …) auf Basis von Überflugdaten, in der Klassifikation einzelner Spontanvegetation in gewünschte/tolerierbare/schädigende Beikräuter, oder in der Herleitung von Handlungsempfehlungen im einzeltierspezifischen Gesundheitsmonitoring. Für die Akzeptanz solcher Systeme ist zudem eine Begründungsverwaltung von besonderer Bedeutung, durch die die getroffenen Entscheidungen nachvollzogen werden können. Neben der Unterstützung zur Entscheidungsfindung für den menschlichen Benutzer soll es auch möglich sein, Problem-spezifische Applikationskarten zu generieren, die von Landmaschinen und Agrarrobotern verwendet werden können.

[1] DFKI-Labor Niedersachsen, Planbasierte Robotersteuerung, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, vorname.nachname@dfki.de, https://dfki.de/pbr

Das DFKI Labor Niedersachsen (DFKI NI) wird gefördert im Niedersächsischen Vorab durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und die VolkswagenStiftung.
Die Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ: 28DE103E18) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 031B0729B).

2 Stand der Technik

Die Idee, Expertensysteme in der Landwirtschaft zu verwenden, ist schon frühzeitig diskutiert worden [ML85] und wurde im Laufe der Zeit in unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kontexten angewandt [Ra98]. Eine Vielzahl der Systeme waren rein symbolisch und sehr anwendungsspezifisch. Jüngere Arbeiten beschäftigen sich mit dem Austausch des Wissens durch Methoden vom Semantic Web [BM11] oder der besseren Zugänglichkeit sowie das Einbeziehen von Geometrien innerhalb eines Geo-Informations-Systems (GIS) [Ka02].

Ein Ansatz, diese beiden Ausrichtungen zu vereinen, wird im SEMAP Framework [DWH18] verfolgt, indem die geographisch räumliche Datenbank PostGIS mit semantisch annotierten Informationen, unter Verwendung von Apache Jena, verknüpft wurde. In dieser Kombination ist es möglich, räumliche Beziehungen sowie Operationen mit semantischem Wissen zu vereinen. Ein vergleichbares Konzept wird ebenfalls im SOMA-Framework [Ku18] beschrieben.

3 Regelbasiertes Inferenzsystem

In dieser Arbeit stellen wir ein semantisches Umgebungsmodell namens SEMPR (**S**emantic **E**nvironment **M**apping, **P**rocessing and **R**easoning) vor, welches sich durch einen integrierten regelbasierten Reasoner auszeichnet, und mit dessen Hilfe sich Expertensysteme für verschiedenste Anwendungen realisieren lassen.

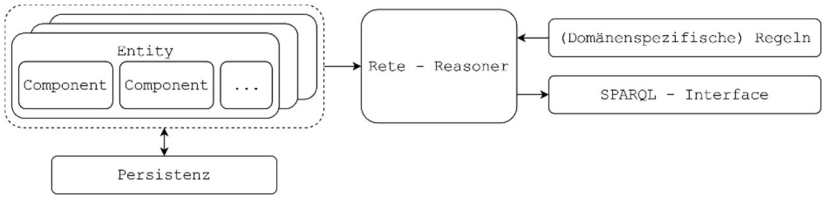


Abb. 1: SEMPR Systemübersicht

Eine Übersicht über SEMPR ist in Abb. 1 dargestellt. Das System setzt auf eine „Entity-Component-System"-Architektur, bei der jegliche Daten in Form von Komponenten implementiert werden. Diese werden dann in Entitäten, die lediglich eine eindeutige ID bereitstellen, gruppiert, um komplexe Objekte zu erzeugen. Auf diese Weise können verschiedene Daten miteinander verknüpft werden, beispielsweise semantische und geometrische Informationen, für die jeweils eine eigene Komponente verwendet wird.

Der „System"-Teil der Architektur beinhaltet die Verarbeitung der vorhandenen Daten und wird hier durch einen regelbasierten Reasoner umgesetzt. Dieser erlaubt den Einsatz von frei spezifizierbaren und damit auf die Anwendungsdomäne angepassten Regeln, wodurch eine große Flexibilität des Systems erreicht wird.

Für den Reasoner geschriebene Regeln folgen einem einfachen Format:

```
[Regelname: Vorbedingungen -> Konsequenzen]
```

Neben einem optionalen Namen der Regel ist eine Liste von Bedingungen sowie eine Liste von Konsequenzen zu spezifizieren. Die Bedingungen verstehen sich dabei als ein Muster, das in der Wissensbasis gefunden werden muss, um daraus die gegebenen Konsequenzen zu ziehen. Die Aufgabe des Reasoners ist es, alle möglichen Kombinationen von Daten zu finden, die auf die Bedingungen einer Regel passen, die entsprechenden Konsequenzen umzusetzen und die dadurch ggf. neu inferierten Daten in die Suche mit einzubeziehen.

Dazu wird ein RETE-Pattern-Matching-Algorithmus [Fo89] eingesetzt. Dieser stellt aus den gegebenen Mustern einen gerichteten Graphen zusammen, in dem jeder Knoten nur einen kleinen Teil des Musters überprüft. Die Daten werden über den Wurzelknoten in das Netzwerk gegeben. Fällt der Test eines Knoten auf den ihm gegebenen Daten positiv aus, leitet er sie an seine Nachfolger weiter und hält sie anderenfalls zurück. In den äußersten Randknoten finden sich dann die gefundenen Kombinationen zur Aktivierung der Regeln. Vorteile dieser Vorgehensweise finden sich darin, dass Teile des Graphen für verschiedene Regeln mit denselben Mustern wiederverwendet werden können. Zudem ermöglicht der Einsatz von Speicherknoten, welche Zwischenergebnisse im Graphen sammeln, inkrementelle Aktualisierungen: Werden Daten hinzugefügt oder entfernt, ist es nicht nötig, alle Regeln neu zu evaluieren. Stattdessen werden nur die relevanten Bereiche des Rete-Netzwerks aktualisiert. Der Reasoner arbeitet dadurch allerdings auch nach dem Prinzip des „Forward-Chaining“, d.h. dass beginnend bei den bekannten Fakten alle Regeln ausgewertet werden und neu hergeleitetes Wissen dem hinzugefügt wird, bis alle möglichen Schlussfolgerungen gezogen wurden – unabhängig davon, ob das Wissen gerade benötigt wird. Dies ermöglicht es, Regeln zum Monitoring einzusetzen und automatisch externe Systeme zu informieren, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind.

Bei der Aktivierung einer Regel werden nicht nur die angegebenen Konsequenzen gezogen, sondern auch der Zusammenhang zwischen den Daten, mit denen ihre Vorbedingungen erfüllt wurden, der Regel selbst, und dem neu inferierten Wissen in einem Inferenzgraphen hinterlegt. Dieser wird verwendet, um nicht-monotone Änderungen effizient umsetzen zu können: Soll ein zuvor zugesicherter Fakt aus der Wissensbasis entfernt werden, wird zuvor geprüft, ob dieser nicht durch andere Fakten und Regeln hergeleitet werden kann und dadurch seine Gültigkeit behält. Weiter werden selbsterhaltene Zyklen im Inferenzgraphen gesucht und entfernt. Dadurch wird sichergestellt, dass jegliches abgeleitetes Wissen vollständig auf zugesicherten Fakten basiert.

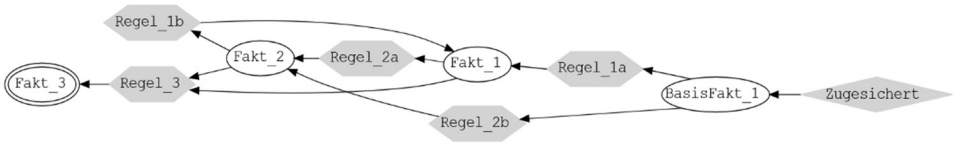


Abb. 2: Beispiel eines Inferenzgraphen. Fakten (Ellipsen) führen durch die Verknüpfung mit Regeln (Hexagone) zu weiteren Fakten

Die Verwaltung des Inferenzgraphen bedeutet einerseits einen zusätzlichen Aufwand, bringt aber andererseits auch nützliche Vorteile mit sich: Neben den effizienteren Aktualisierungen nach dem Entfernen von Daten bietet er auch die Möglichkeit, die Herkunft des abgeleiteten Wissens nachzuverfolgen, um dieses zu erklären. Ein Teil eines Inferenzgraphen ist in Abb. 2 zu sehen. Die ovalen Knoten repräsentieren dabei einzelne Datenelemente, aus denen durch Regel-Effekte (graue Hexagone) neue Daten abgeleitet wurden. Der doppelt umrandete Knoten ist jener, für dessen Erklärung diese Darstellung generiert wurde. Der Weg seiner Herleitung lässt sich bis zu den externen Zusicherungen, abgebildet als grauer Diamant auf der rechten Seite des Graphen, verfolgen.

```
[   (?k <type> ?typ), (?typ <subClassOf> <Kraut>),
    (?typ <hatUnkrautPotenzial> "mittel"),
    noValue { (?osl <type> <OSLPotenzial>),
              (?osl <vonKraut> ?typ) },
    noValue { (?k <ignore> "ja") }
 ->
    (?k <istMassnahmeErforderlich> "ja") ]

[   (?k <type> ?typ), (?typ <subClassOf> <Kraut>),
    (?typ <hatUnkrautPotenzial> "mittel"),
    (?k <inBBCH> ?bbch), ge(?bbch 70),
    noValue { (?k <ignore> "ja") }
 ->
    (?k <istMassnahmeErforderlich> "ja") ]
```

Abb. 3: Beispiel für symbolische Inferenz. Pflanzen mit mittlerem Unkrautpotenzial werden bekämpft, wenn sie keinen ökologischen Nutzen haben oder bereits verblüht sind (BBCH ≥ 70)

4 Exemplarische Anwendung

In der Landwirtschaft gibt es viele Bereiche, in denen eine Unterstützung durch Expertensysteme wünschenswert ist. So könnte beispielsweise veterinärmedizinisches Wissen modelliert werden, um es systematisch in einem einzeltierspezifischen Gesundheitsmonitoring anzuwenden und Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Tiergesundheit zu erzeugen. Aber auch auf pflanzenkundlicher Seite lassen sich Anwendungsgebiete finden. So könnte etwa die Modellierung von Wissen über Un- und Beikräuter helfen, ein angemessenes und ökologisches Unkrautmanagement umzusetzen. Angenommen, durch die sensorische Erfassung eines Feldes, zum Beispiel durch mobile Roboter oder Drohnen, werden einzelne Kräuter oder Gebiete mit vermehrtem Aufkommen eines Un-/Beikrauts bestimmt. Mit in Regeln formalisiertem, pflanzenkundlichem Wissen kann dann aus zusätzlichen Daten wie der Jahreszeit, Wetterdaten, der angebauten Nutzpflanze, der Art des Betriebs, der verfügbaren Gerätschaften oder

auch geographischen Gegebenheiten abgeleitet werden, ob und welche Art von Unkrautmanagement eingesetzt werden soll.

In einem einfachen Beispiel dazu werden die Kräuter zunächst nach ihrem Unkrautpotenzial klassifiziert, d.h. nach ihrer schädlichen Wirkung auf die Nutzpflanze und den Ertrag, ihrer Reproduktionsrate, etc. Ob bereits gegen die jeweilige Pflanze vorgegangen werden muss, kann dann von ihrem Unkrautpotenzial, ihrem Wachstumsstadium und ihrem ökologischen Nutzen abhängig gemacht werden. Mit den Regeln in Abb. 3 werden Kräuter mit mittlerem Unkrautpotenzial und ökologischem Nutzen erst nach ihrer Blüte bekämpft. Die Struktur der Implementierung dieser Regeln in einem Rete-Netzwerk ist in Abb. 4 zu sehen: Ellipsen repräsentieren darin einzelne Tests auf den Daten, während Rechtecke für die eingesetzten Speicherknoten stehen. Der Start-Knoten auf der linken sowie die Effekte der Regeln auf der rechten Seite sind dunkelgrau hervorgehoben. Viele Knoten können für beide Regeln wiederverwendet werden, was dadurch zu erkennen ist, dass von ihnen Pfade zu beiden Effekten führen.

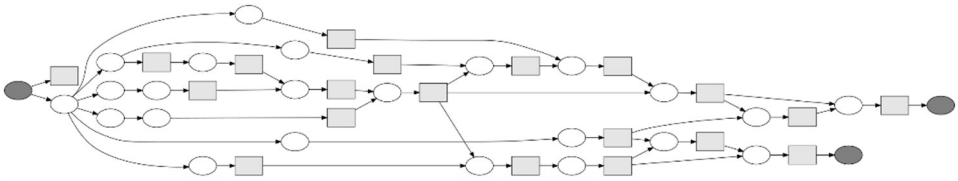


Abb. 4: Beispiel für die Struktur eines Rete-Netzwerkes, generiert aus den Regeln in Abb. 3

Durch ähnliche Regeln lassen sich auf diese Weise auch die Art der Bekämpfung anhand verschiedener Parameter bestimmen und beispielsweise noch sehr junge Pflanzen durch wenig intensives mechanisches Striegeln behandeln, während bei älteren und schädlicheren Kräutern auf rigorosere Maßnahmen wie Hacken oder Herbizideinsatz zurückgegriffen wird.

```
[    (?g <type> <Gewaesser>), EC<Geo>(?g ?gg),
     geo:UTMFromWGS(?ggUTM ?gg 32),
     (?k <type> <Kraut>),     EC<Geo>(?k ?kg),
     geo:UTMFromWGS(?kgUTM ?kg 32),
     geo:distance(?dist ?kgUTM ?ggUTM), le(?dist 20)
 ->
     (?k <ignore> "ja") ]
```

Abb. 5: Beispiel für den Einbezug von Geometrien. Un-/Beikräuter in ≤ 20 m Entfernung zu Gewässern werden bei der Bekämpfung ignoriert. `EC<Geo>` referenziert Geometrien, über `geo:UTMFromWGS` in UTM transformiert, mit Distanzbestimmung zueinander über `geo:distance`

Da in dem hier vorgestellten System die erkannten Pflanzen neben ihrer semantischen Klassifizierung auch mit geometrischen Daten behaftet sein können, lassen sich nach der Ableitung der auszuführenden Handlungen Applikationskarten für die verschiedenen Maßnahmen erzeugen. Dadurch können Unkräuter gezielt und angemessen bekämpft werden, wodurch der Einsatz von Herbiziden reduziert und gleichzeitig der ökologische

Nutzen der Beikräuter erhalten bleibt, solange diese gemäß dem modellierten Wissen tolerierbar sind. Dabei kann auch auf die geographischen Gegebenheiten Rücksicht genommen werden, indem etwa mit der Regel in Abb. 5 alle Kräuter in der Nähe von Gewässern aus der Bearbeitung ausgeschlossen werden, da dort zum Schutz des Gewässers auf Pflanzenschutzmittel verzichtet werden soll und zudem die Gerätschaften zur mechanischen Unkrautbekämpfung in unmittelbarer Nähe zum Ufer schwer einsetzbar sind.

5 Ausblick

Wir haben gezeigt, dass ein regelbasiertes Inferenzsystem eine gute Grundlage zur Entwicklung eines Expertensystems im landwirtschaftlichen Bereich sein kann. Die gezeigte Verknüpfung mit geometrischen Daten und Operationen trägt zu einer flexiblen und ausdrucksstarken Wissensmodellierung bei. Die durch den Inferenzgraphen realisierte Begründungsverwaltung liefert dabei die wichtige Möglichkeit, dem Anwender die Herkunft des inferierten Wissens zu erläutern und Handlungsempfehlungen zu begründen. Für weitere Anwendungsgebiete und Szenarien, die über das im vorherigen Abschnitt dargestellte Beispiel hinaus gehen, kann es zudem notwendig sein, zusätzlich Optimierungsalgorithmen einzusetzen, um „die beste“ Lösung/Handlungsempfehlung für eine Situation zu finden. Die dadurch ermöglichte automatisierte Anwendung von Expertenwissen und die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des Systems eröffnen Wege, die moderne landwirtschaftliche Praxis digital voranzutreiben.

Literaturverzeichnis

[BM11] Bansal, N.; Malik, S. K.: A framework for agriculture ontology development in semantic web: ICCNT, 2011; S. 283–286.

[DWH18] Deeken, H.; Wiemann, T.; Hertzberg, J.: Grounding semantic maps in spatial databases. In Robotics and Autonomous Systems, 2018, 105; S. 146–165.

[Fo89] Forgy, C. L.: Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem. In (Mylopolous, J. Hrsg.): Readings in artificial intelligence and databases. Kaufmann, San Mateo, Calif., 1989; S. 547–559.

[Ka02] Kalogirou, S.: Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. In Computers, environment and urban systems, 2002, 26; S. 89–112.

[Ku18] Kunze, L. et al.: Soma: A framework for understanding change in everyday environments using semantic object maps. In AAAI Fall Symposium on Reasoning and Learning in Real-World Systems on Long-Term Autonomy, 2018; S. 47–54.

[ML85] McKinion, J. M.; Lemmon, H. E.: Expert systems for agriculture. In Computers and Electronics in Agriculture, 1985, 1; S. 31–40.

[Ra98] Rafea, A.: Expert system applications: Agriculture. In Central Laboratory for Agricultural Expert Systems, PO Box 100, 1998.

Mit Highspeed auf das Feld – Ethernet auf Landmaschinen

Frank Nordemann[1], Anas Bin Muslim[1] und Ralf Tönjes[1]

Abstract:

Auf vielen Landmaschinen wird der CAN-Bus zur Übertragung von Daten zwischen Sensoren, Aktoren und Steuergeräten genutzt. Anwendungen wie Rückfahrkameras und Bird-View-Anzeigen erfordern in der Regel zusätzliche, breitbandige Kommunikationskanäle. Dieser Beitrag untersucht, inwieweit ein gemeinschaftliches Kommunikationsmedium auf Basis von Ethernet zur Realisierung aktueller und zukünftiger Anwendungen auf Landmaschinen genutzt werden kann. Zusätzlich wird der Einsatz aktueller Technologien wie Audio/Video Bridging, Time-Sensitive Networking und Wifi auf einem Landmaschinengespann untersucht und bewertet.

Keywords: Landmaschinenkommunikation, Ethernet, IEEE 802.1Q, AVB/TSN, Wifi

1 Motivation und Problemstellung

Die Menge der auf modernen Landmaschinen zu übertragenden Daten nimmt kontinuierlich zu. Die Nutzung von digitalen Kameras für Ansichten von Rückwärtsfahren, Bird-View-Anzeigen und für Prozessbeobachtungen verlangt nach hohen Bandbreiten und geringen Latenzzeiten. Gleichzeitig soll der weitere Datenverkehr, insbesondere zeitkritische Sicherheits-, Fehler- und Sensordaten, nicht durch die Videodaten behindert werden. Landmaschinen verfügen in der Regel über ein auf dem CAN-Bus nach SAE J1939 [SA20] basierendes Kommunikationsnetz, wie es bei vielen Maschinenbussen der Hersteller und beim ISOBUS [IS07] der Fall ist. Die dadurch ermöglichte Datenrate ist in der Regel auf 250 kbps bei einer Leitungslänge von 40 m limitiert. Weder die Datenrate noch die Leitungslänge reichen für moderne Anwendungen aus, weshalb oftmals mehrere CAN-Busse und zusätzliche Übertragungsmedien für Videodaten installiert werden.

Die Nutzung von Ethernet ist in vielen verschiedenen Anwendungsbereichen erfolgreich erprobt. Auch die Industrie greift in Fabriken und deren Maschinen auf Ethernet zurück. Da insbesondere für zeitkritische Funktionen wie ein Notaus einer Maschine deterministische Übertragungszeiten von hoher Bedeutung sind, werden oftmals Industrial-Ethernet-Varianten verwendet, die den fehlenden Determinismus über zeitschlitzbasierte Verfahren umsetzen. Allerdings ist eine Landmaschine wie ein Traktorgespann nicht mit Industriemaschinen und auch nicht mit Automobilen zu vergleichen: Bei Landmaschinen werden gewöhnlich Maschinen verschiedener Hersteller je nach Anwendungsfall dynamisch gekoppelt. Bei den Industrial-Ethernet-Varianten ist es notwendig, den auftreten-

[1] Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, {f.nordemann; a.bin-muslim; r.toenjes}@hs-osnabrueck.de

den Datenverkehr vorab über Werkzeuge zu planen und die Konfiguration auf die beteiligten Komponenten zu transferieren. Beides ist aufgrund der Dynamik und Heterogenität im Landmaschinenbereich nicht möglich.

Basierend auf dem zweijährigen Forschungsprojekt NeGIS wird in diesem Beitrag untersucht, ob durch die Nutzung der weit verbreiteten Fast-Ethernet-Technologie [FE95] die Kommunikationsanforderungen moderner Landmaschinen und deren Anwendungen erfüllt werden können. Weiterhin wird untersucht, welche Möglichkeiten sich durch die Integration neuartiger Technologien wie Audio/Video-Bridging (AVB, [AV20]) und Time-Sensitive-Networking (TSN, [TS20]) ergeben.

2 Kommunikationssimulation eines Traktorgespanns

Die Grundlage der Untersuchungen ist ein Traktorgespann mit insgesamt drei Anbaugeräten. Auf dem Gespann sind Kameras, Sensoren und Bediengeräte an unterschiedlichen Positionen untergebracht (siehe Abb. 1). Als Simulationssoftware wird ein erweitertes OMNeT++ genutzt, Übertragungsmedium ist ein Fast-Ethernet-Netzwerk mit 100 Mbps.

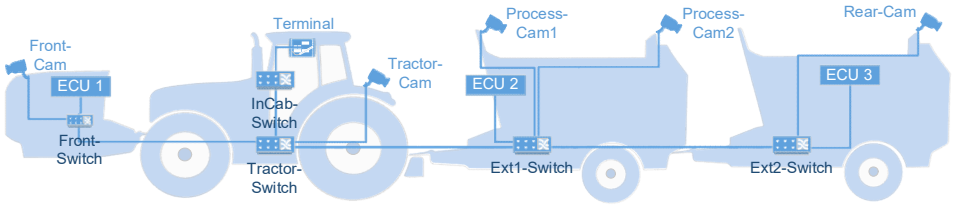


Abb. 1: Simulationsszenario bestehend aus einem Traktorgespann mit drei Anbaugeräten

Die Netzlast setzt sich aus Daten verschiedener Anwendungskategorien zusammen: Auf dem Maschinengespann befinden sich fünf Kameras zur Unterstützung von Bird-View-Anzeigen, Rückwärtsfahren und zur Prozessbeobachtung. Bei 15 Mbps pro Kamera entsteht ein gesamter Videoverkehr in Summe von 75 Mbps. Weiterhin befinden sich auf den Anbaugeräten insgesamt drei Electronic Control Units (ECU). Die ECU versenden zum einen Safety-Nachrichten (Paketgröße 42 Byte), welche beispielsweise Notaus-Nachrichten repräsentieren. Durch den kontinuierlichen Versand mit 56 kbps kann deren Latenz und Verlustrate identifiziert werden. Zum anderen generieren die ECU Hintergrunddatenverkehr, der zum Beispiel Prozesszustände, Sensor- oder Logdaten repräsentiert. Diese Nachrichten füllen mit einer Größe von 1500 Byte ein gesamtes Ethernet-Paket und werden zur Steigerung der Netzlast genutzt. Sie können nach IEEE 802.1Q [VB98] in Prioritäten unterteilt werden oder zusammen als Best-Effort-Verkehr bezeichnet werden. Als Scheduling-Mechanismus wird Strict-Priority-Scheduling eingesetzt, bei dem eine höhere Priorität absoluten Vorrang vor einer niederwertigen Priorität hat. Das Ziel des gesamten Netzverkehrs sind Bediengeräte in der Traktorkabine. Entsprechend ist mit Überlastungen des Netzwerkes im Bereich des Traktors zu rechnen.

3 Ergebnisse der Kommunikationssimulationen

Nachfolgend werden die Latenzzeiten und Paketverluste dreier unterschiedlicher Konfigurationen des Simulationsszenarios dargestellt.

3.1 Ethernet mit Prioritätsklassen

Ethernet mit Prioritäten nach IEEE 801.Q ist Grundlage der ersten Simulation. Dabei wird der Netzverkehr überwiegend durch die drei ECU generiert und in sechs Prioritätsklassen eingeteilt (Prio0 bis Prio5). Zusätzlich werden die Prioritätsklassen sechs und sieben genutzt, um Videodaten und Safety-Nachrichten zu versenden. Abb. 2 stellt die Latenzen der unterschiedlichen Prioritätsklassen mit Video/Prio6 und Safety/Prio7 dar.

Deutlich erkennbar sind hierarchische Unterschiede in den Latenzen der Prioritäten. Die niedrigste Priorität Prio0 enthält die höchsten maximalen Latenzen, zugleich steigen die Latenzwerte deutlich bei einer Überlastung des Netzwerkes an, was sich versetzt auch auf die weiteren Prioritäten überträgt. Allerdings bleiben die Latenzen für Safety- (Prio7) und Videodaten (Prio6) auch bei einer deutlichen Netzüberlastung von 160 Mbps stabil in einem Bereich von 1 ms. Dies liegt neben dem eingesetzten Strict-Priority-Scheduling auch an der geringeren Datengröße von Safety- und Videopaketen im Vergleich zu den 1500 Byte großen Datenpaketen der verbleibenden Prioritäten. Der Boxplot in Abb. 3 zeigt die Verteilung der Latenzen bei einer Netzlast von 98 Mbps. Auch hier werden die hierarchischen Unterschiede zwischen den Prioritäten ersichtlich. In Verbindung mit der kumulativen Latenzverteilung in Abb. 4 wird deutlich, dass sich die Verzögerungszeiten, je nach Priorität, in einem Bereich von 0 bis 10 ms befinden. Bedeutend ist, dass ab einer Netzlast von ca. 85 Mbps mit Paketverlusten bei niedrig priorisierten Daten gerechnet werden muss (siehe Abb. 5). Abschließend ist eine Realisierung der Beispielanwendungen aus Kameraansichten, Safety- und Best-Effort-Daten in dieser Szenariokonfiguration möglich, wenn die verwendeten Prioritäten mit Bedacht gewählt werden.

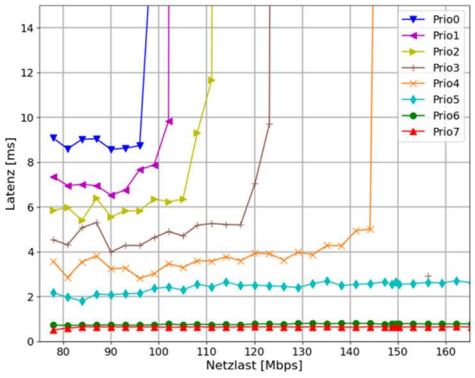


Abb. 2: Max. Latenzwerte der Prioritäten

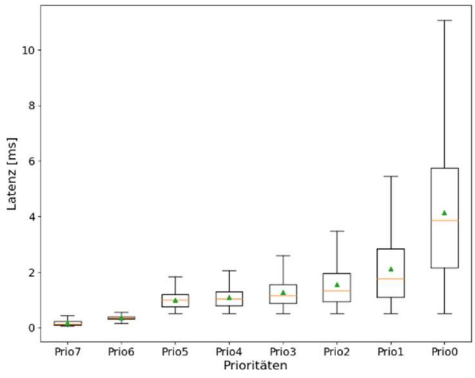


Abb. 3: Latenzwerte bei 98 Mbps Netzlast

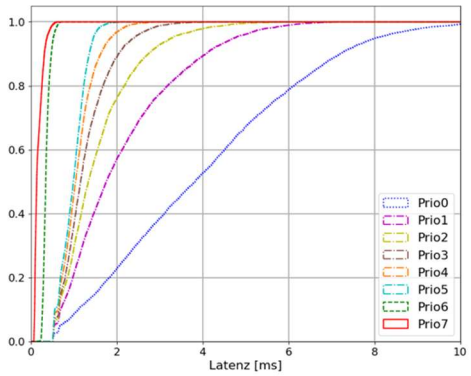


Abb. 4: Kumulative Verteilung (98 Mbps)

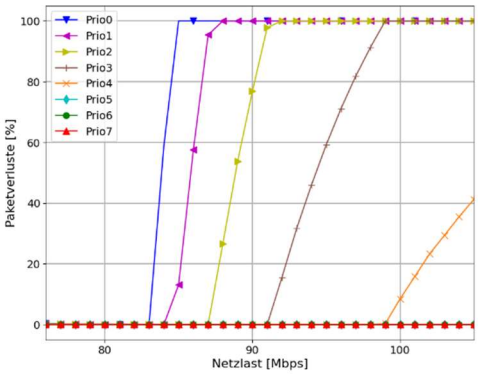


Abb. 5: Paketverluste nach Priorität

3.2 Ethernet mit Prioritätsklassen und Audio/Video Bridging (AVB)

In der zweiten Simulationskonfiguration wird mit der Nutzung von AVB ein deterministisches Übertragungsverfahren für Videodaten integriert. AVB verwendet zur Übertragung die Prioritätsklassen fünf und sechs und wird vor jeglichem anderem Datenverkehr verarbeitet. Dadurch werden auch Safety-Nachrichten, die sich auf der eigentlich höher priorisierten Stufe sieben befinden, erst im Anschluss an den AVB-Verkehr behandelt.

Die Latenzzeiten in Abb. 6 und Abb. 7 legen dar, dass für die Videodaten Verzögerungen von unter 1 ms auch bei steigender Netzlast garantiert werden können. Die kumulative Latenzverteilung in Abb. 8 veranschaulicht die zu erwartenden Latenzen bei einer Netzlast von 95 Mbps (aufgrund der Best-Effort-Konfiguration nicht 98 Mbps).

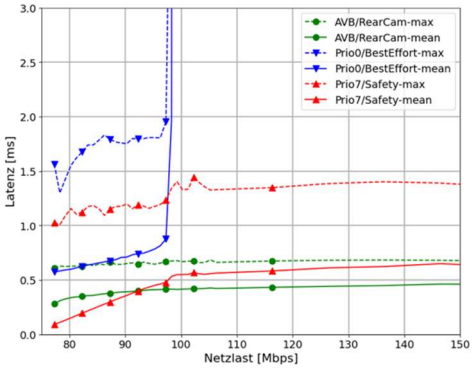


Abb. 6: Latenzwerte inkl. AVB-Videodaten

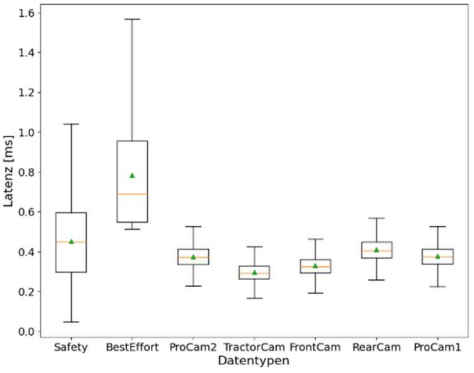


Abb. 7: Latenzwerte bei 95 Mbps Netzlast

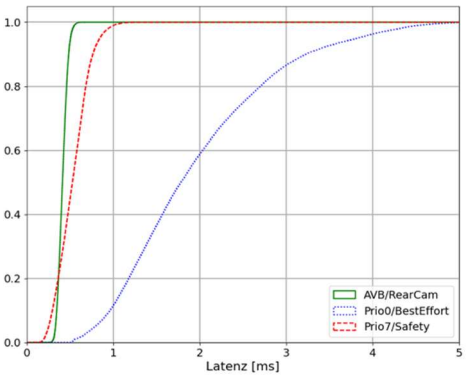


Abb. 8: Kumulative Verteilung (95 Mbps)

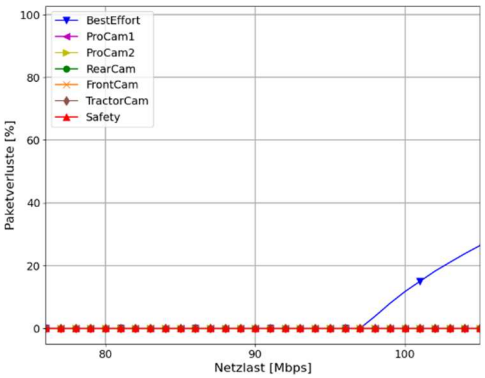


Abb. 9: Paketverluste nach Priorität

Die Latenzwerte für die Übertragung von Safety-Nachrichten liegen in geringem Rahmen über den Werten der Videodaten, weisen jedoch höhere Schwankungen auf. Einzig die als Best-Effort zusammengefassten weiteren Prioritäten lassen mit einer Überlastung des Netzwerkes deutlich steigende Latenzzeiten erkennen, bei denen gleichzeitig auch Paketverluste (siehe Abb. 9) zu erkennen sind.

3.3 Ethernet und Wifi mit Prioritätsklassen

Die Steckverbindungen zwischen Traktor und Anbaugeräten erhöhen die Leitungslänge, den Kopplungsaufwand und die physische Fehleranfälligkeit (z. B. durch Kabelbruch, Kabelstauchung und Verschmutzung). In einer dritten Simulation mit insgesamt vier Kameras werden diese Verbindungen durch Wifi nach IEEE 802.11g ersetzt, um den Einfluss einer Funktechnologie auf Latenzwerte und Paketverluste zu untersuchen.

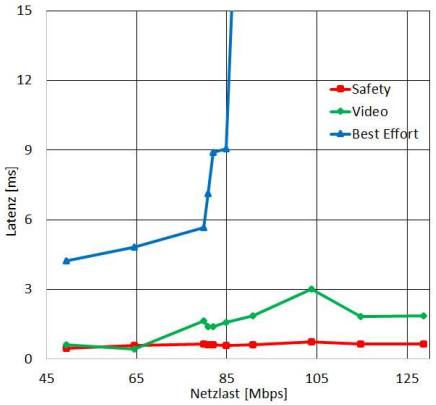


Abb. 10: Latenzwerte mit Wifi

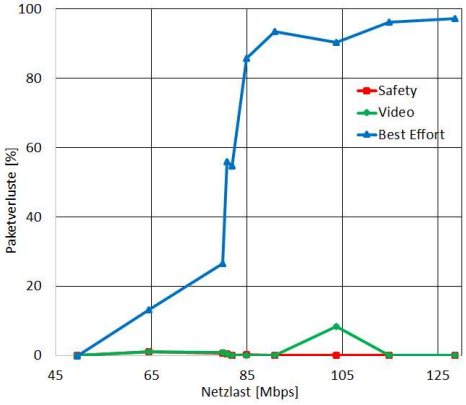


Abb. 11: Paketverluste nach Priorität mit Wifi

Ab einer Netzlast von 80 Mbps erfolgt ein Anstieg von Latenzen und Paketverlusten. Diese konzentrieren sich auf die niederpriorisierten Datenklassen, die als Best-Effort zusammengefasst sind. Die durchschnittlichen Latenzwerte in Abb. 10 liegen etwas höher als bei den kabelgebundenen Untersuchungen, befinden sich aber vor allem für Video- und Safetydaten mit 1 bis 3 ms durchgehend in einem guten Bereich. Beide Datentypen erfahren zudem nur geringe Paketverluste (siehe Abb. 11).

4 Zusammenfassung

Die mittels Simulationen durchgeführten Untersuchungen legen dar, dass bei bedachter Einteilung der zu übertragenden Daten in Prioritätsklassen die Anforderungen moderner Anwendungen auf Landmaschinen erfüllt werden können. Die notwendigen Datenraten und Latenzen können bereits durch Fast-Ethernet mit Priorisierung nach IEEE 802.1Q auch in Netzüberlastsituationen bereitgestellt werden. Mit Gigabit-Ethernet steht zudem eine Kommunikationstechnologie zur Verfügung, mit der die Möglichkeit von Netzüberlastungen für typische Anwendungsfälle deutlich reduziert werden kann.

Für die deterministische Übertragung von Videodaten kann zusätzlich AVB integriert werden, wodurch Verzögerungszeiten von unter 1 ms garantiert werden können. Basierend auf AVB kann der Nachfolgestandard TSN eine Möglichkeit darstellen, neben Videodaten auch andere Daten deterministisch (z. B. mittels Time-Aware-Shaping) zu übertragen. Dabei müssen Übertragungszeitschlitze auf einem dynamisch zusammengesetzten Maschinengespann unterschiedlicher Hersteller ausgehandelt werden.

Werden Datentypen sinnvoll priorisiert und Überlastungen im Netz konfigurationsseitig verhindert, können die Verbindungen zwischen Traktor und Anbaugeräten drahtlos realisiert werden. Obwohl die auftretenden Latenzen oberhalb der kabelgebundenen Konfigurationen liegen, erfüllen sie die Anforderungen gängiger Anwendungen. Weitere Verbesserungen des Datendurchsatzes sind mit zukünftigen Wifi-Standards zu erwarten.

Literaturverzeichnis

[FE95] IEEE Std. 802.3u-1995, Fast-Ethernet, IEEE, 1995.

[VB98] IEEE Std. 802.1Q-1998, Virtual Bridged Local Area Networks, IEEE, 1998.

[AV20] IEEE 802.1BA, Audio/Video Bridging (AVB) Systems, Task Group, http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ba.html, Stand: 13.10.2020.

[TS20] IEEE Time-Sensitive Networking, Task Group, http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html, Stand: 13.10.2020.

[IS07] ISO 11783 Part 1-14, Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network, Beuth Verlag, 2007.

[SA20] SAE J1939 Standards Collection, https://www.sae.org/standardsdev/groundvehicle/j1939a.htm, Stand: 13.10.2020.

Field plant characterization method based on a multi-wavelength line profiling system

Burawich Pamornnak[1], Christian Scholz[1], Dominik Nieberg[1], Matthias Igelbrink[1] and Arno Ruckelshausen[1]

Abstract: Phenotyping of plant characteristics is essential for plant breeding. Especially the growth stages of plants during field emergence, described by parameters such as plant height and plant counting, are of interest. But large-scale manual phenotyping is very inconvenient due to the workload, the harsh weather conditions, and time-consumption. Therefore, an automated system is needed. This research describes a field plant characterization method implemented in a plot divider machine for rapeseeds. The method consists of a plant height estimation and a plant counting system. Based on a multi-wavelength line profiling (MWLP) sensor system, the 2D and 3D point cloud information from visible wavelengths to near-infrared (NIR) are automatically mapped without any need for a matching method. The plant characterization processes consist of two main steps, 1) plant detection, and 2) height estimation. These processes use the 2D NIR and 3D point cloud as the main features. The proposed method was demonstrated with highly accurate results in several rapeseeds, illustrating the potential of this method to become a basic tool for crop characterization in plant sciences.

Keywords: phenotyping, 3D imaging, spectral imaging, plant detection, point clouds, field trails, agricultural machinery

1 Introduction

The plants' growth characteristic is one of the key features to determine the comparison with genetic and phenomic properties in plant breeding studies [Bu13] and to optimize the quality of seed [Ha20]. Two important parameters within this characteristic are plant count and height, specifically for small plants during field emergence. According to state of the art, these parameters are determined manually by the workers by using handheld tools like a ruler and laser distance meter. However, these parameters are subjective and time-consuming to determine and create a demand for objective, reliable, and highly automated measurements. Based on this demand, new technologies, such as drones and driving machines with serval sensors, are more and more used in seed breeding research during the last years [Ni20].

This work illustrates the use of sensors on driving machines (e.g., plot divider) to determine the plant count and height for small plants in the early stages of rapeseed. For this 3D laser scanners and RGB cameras are usually used to get the data to analyze the

[1] Hochschule Osnabrück: COALA, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück,
{b.pamornnak, c.scholz, d.nieberg, matthias.igelbrink, a.ruckelshausen}@hs-osnabrueck.de

results, which is a highly complex system [Bu13]. To solve this highly complex, reduce the number of sensors and the needed overlay calibration, the multi-wavelength laser line profile (MWLP) system was developed [St17]. This sensor combines selectable spectral characteristics and 3D information reflected from the high-intensity laser light sources (400 – 1000 nm) without any postprocessing for matching the data. With the 2D images and 3D point cloud information, this sensor was implemented on the field robot BoniRob and demonstrated with the 3D pattern calibration and automatic data acquisition system for rapeseed [Sc19].

Based on the MWLP sensor system's advantage, this work describes a method for plant counting with height estimation based on the MWLP sensor system installed on a plot divider machine [Ni20]. The method consists of two main steps. In the first step, the plant detection process uses the basic preprocessing and morphological methods with a 2D image to make a plant mask, which overlays the 3D point cloud image to identify the plants in the 3D point cloud. In the second step, plant height estimation uses the histogram analyzer to differentiate the distance between ground level and leave position. All plants in the whole plot area will be detected with their height characteristic from both illustrated steps.

This article is organized by addressing the MWLP sensor system installation and plant characterization method in Section 2. The implementation results will be demonstrated in Section 3, and the conclusion will be discussed in Section 4.

2 Material and methods

This section describes the machine implementation to be used on the field plots. The MWLP sensor system installation will be described first, followed by the plant characterization method, including plant detection and plant height estimation.

2.1 The MWLP sensor system installation

Figure 1 shows the MWLP sensor system installed on the mobile adjustable sensor holder platform on the plot divider machine, a Haldrup D-45 (Haldrup GmbH, Germany). Based on the light-controlled condition, the covered scanning area has been used to protect the image from external interference. Figure 2 shows the MWLP implementation workflow with a multi-spectral camera and three selectable light sources, red (650 nm), green (520 nm), and near-infrared (NIR, 850 nm), that cover the soil and leaves color characteristics. The calibration process uses the sensor level adjustment and a calibration template based on calibration software. The defined basic geometric dimension of the test object will be verified by the testing process. After the MWLP sensor calibration was verified, the MWLP sensor is ready to use in the field experiment.

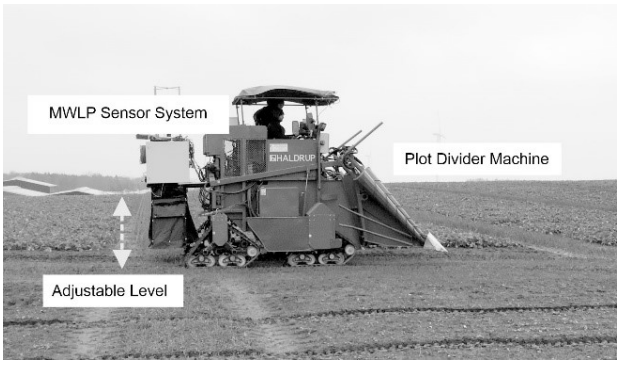


Fig. 1: The MWLP Implementation

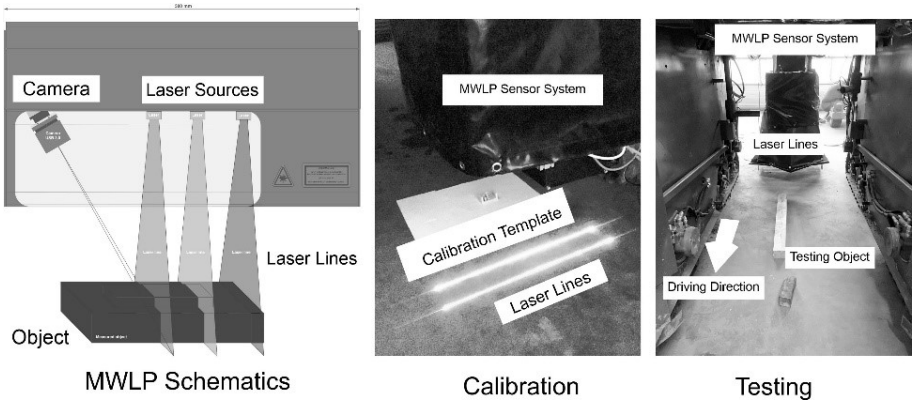
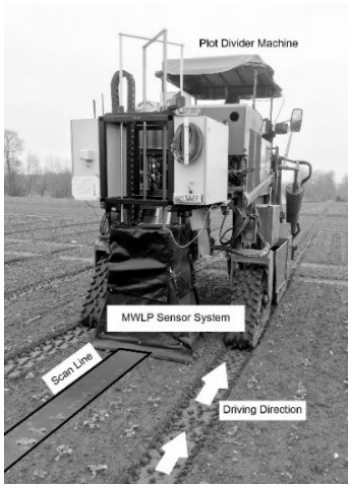


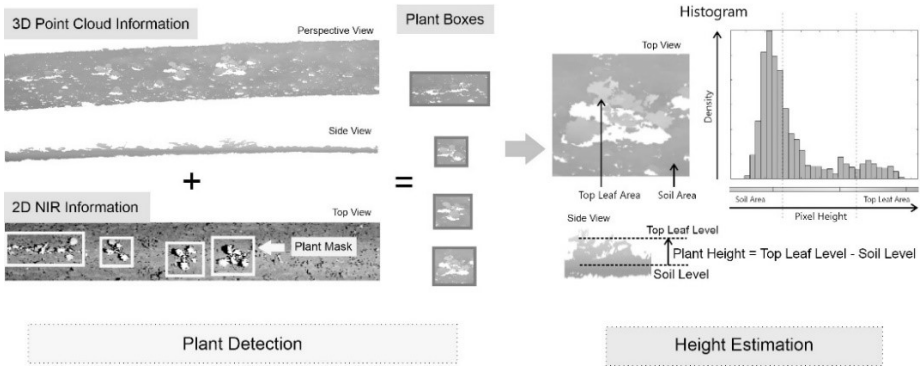
Fig. 2: The MWLP implementation workflow

2.2 Plant characterization method

Figure 3(a) shows the experimental setup with a plot divider machine and a calibrated MWLP sensor system. The sensor setup synchronized with the machine speed to correctly map the point cloud dimension in the acquisition process. This experiment was demonstrated in the rapeseed field in the NPZ-Innovation area (Hohenlieth-Hof, Holtsee, Germany). The entire field area was separated into subplots and selected the middle row of each plot to make a sample data called “Scan Line”. This work used the MATLAB (MathWorks, USA) software to evaluate the plant characterization method. The system diagram consists of two steps, a plant detection and a height estimation, as shown in Figure 3(b).



(a)



(b)

Fig. 3: (a) The experimental setup showing the fully implemented system and (b) the two step plant characterization method with plant detection (left) and height estimation (right)

The first step is the plant detection method. This step takes the 3D point cloud information from three wavelengths, red, green, and NIR, into the array of XYZ positions for each wavelength without any matching process. The different grey level (from dark to light) represents the height level of soil and plants that varies by the soil surface curve due to the experimental field not being a flat area. By observation, the human can identify the plants and the soil from the 3D perspective view. Nevertheless, the machine vision system requires 3D color, and NIR information to locate the plant from the various soil levels. Due to the different reflection rates between the soil and the plant from red color and NIR wavelength, the normalized difference vegetation index (NDVI) technique or the NIR

signal threshold have been used as a typical method in various work and these techniques can be used with the MWLP system. In this work, the threshold level of 2D NIR information from the top-view was optimized with image processing and morphological operations (such as median filtering, dilation, and erosion) to create a plant mask. After application of the plant masks to the 3D information, the plants on their soil area were evaluated into plant boxes.

The second step is the plant height estimation method. Based on the assumption that the low positions are soil and the high positions are plant leaves. From the histogram of each plant box, the mean value of 30 % from the lower level, called "soil level" and the mean value of 30 % from the upper level, called "top leaves level" are evaluated. The plant height can be assessed from the difference between these values.

3 Results and discussions

This section shows the plant characterization results of the first experimental setup for plant counting and plant height estimation compared with the human visualization based on the high-resolution raw data with plant heights between 2 and 16 cm. For the plant counting, 809 rapeseed plants have been used for testing. Figure 4(a) shows the plant counting correlation between the human inspector and the MWLP system. An R^2 value of 0.87 shows the potential to use the MWLP system to count the plants in the field. Figure 4(b) shows the correlation of plant height estimation between the human inspector and MWLP sensor system for 151 rapeseed plants. An R^2 value of 0.98 shows the high accuracy of the plant height estimation method. For the repeatability test, two each repetition have been executed, **Test #1** (T_1) for the first test run and **Test #2** (T_2) for the second test run. To evaluate the method precision, Figure 4(c) shows the correlation between T_1 and T_2 with an R^2 value of 0.98. These values show that the plant height estimation method as well as the corresponding technical repeatability are of high accuracy.

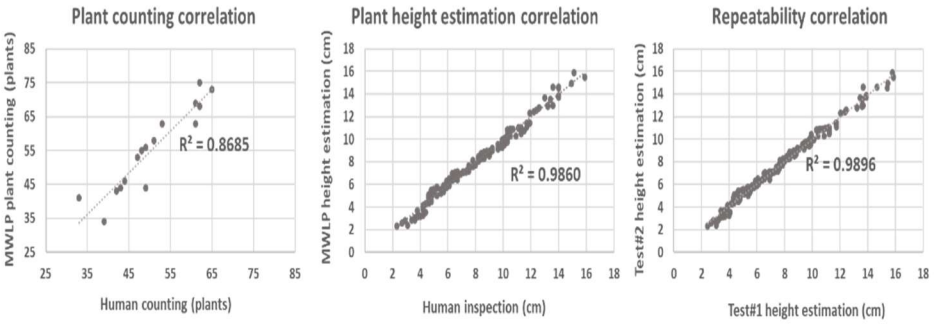


Fig. 4: Plant characterization method correlation results, (a) plant counting correlation, (b) plant heigh estimation, and (c) technical repeatability.

4 Conclusion

The first setup of a plant characterization method with the MWLP sensor system was implemented into an agricultural field plot divider machine. The sensor was installed with controlled lighting, adjustable levels and uses the software pattern calibration. The proposed method achieves plant detection and height estimation based on image processing technique. The technology has been applied in rapeseed field plots, with R^2 values of 0.87 for plant counting, 0.98 for plant height estimation, and 0.98 for the technical repeatability. The results illustrate the potential of the MWLP sensor system-implemented in a plot divider machine – for field-based phenotyping.

Acknowledgments

This work has been financed within the RapiD project and funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL), Germany and the Agency for Renewable Resources (FNR), Germany.

References

[Bu13] Busemeyer, L. et al.: BreedVision—A multi-sensor platform for non-destructive field-based phenotyping in plant breeding. Sensor Journal, 13(3), S. 2830-2847, 2013.

[St17] Strothmann, W. et al.: Plant classification with in-field-labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3d surface features from a multi-wavelength laser line profile system. Computers and Electronics in Agriculture, 134, S. 79-93, 2017.

[Sc19] Scholz, C. et al.: Multi-wavelength laser line profiling (MWLP) System zur feldbasierten Bestimmung von 3D Strukturen, spektralen Eigenschaften und Wachstumsparametern von Pflanzen. In Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 102, S. 127-135, 2019.

[Ha20] Li, H. et al.: High-throughput phenotyping accelerates the dissection of the dynamic genetic architecture of plant growth and yield improvement in rapeseed. Plant Biotechnology Journal, 18, S. 2345-2353, 2020.

[Ni20] Nieberg, D. et al.: Mobiles Hochdurchsatz-Phänotypisierungssystem für Feldversuche in Raps. In (Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Bernhardt, H., Maidl, F. X., Fröhlich, G., Floto, H. (Hrsg.): GI Edition Proceedings Band 299 - Informatik in der Land-, Forst-, und Ernährungswirtschaft Proc. Referate der 40. GIL-Jahrestagung, Freising-Weihenstephan, S. 205-210, 2020.

Klein gegen Groß – Vergleich von klein- und großstrukturierten Agrarregionen beim Einsatz digitaler Technologien

Johanna Pfeiffer [1], Andreas Gabriel [1] und Markus Gandorfer [1]

Abstract: Eine aktuelle deutschlandweite Online-Umfrage gibt einen Gesamtüberblick über den Einsatz digitaler Technologien auf landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland. Die Betriebsstruktur hat, wie erwartet, insbesondere dann einen Einfluss auf den Einsatzumfang digitaler Technologien, wenn es sich um Technologien mit hohem Investitionsbedarf handelt. So zeigen sich bei Anwendungen wie Wetter- und Prognose-Apps kaum Unterschiede, wohingegen Lenksysteme oder GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltung in großstrukturierten Agrarregionen (Bundesländer mit mittlerer Flächenausstattung > 100 ha) signifikant höhere Adoptionsraten aufweisen als in kleinstrukturierten Bundesländern (mittlere Flächenausstattung < 100 ha).

Keywords: Adoption, Online-Umfrage, Smart Farming, Precision Farming, Digitalisierungsgrad

1 Einleitung

Die starke Medienpräsenz von Themen zur Digitalisierung der Landwirtschaft lässt vermuten, dass die große Mehrheit der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland bereits digitalisiert sei. Betrachtet man die Situation jedoch tiefergehend, so wird deutlich, dass ein Großteil der sich tatsächlich im Einsatz befindenden digitalen Technologien in der Landwirtschaft (kostenneutrale) Online-Anwendungen sind [MBM20]. Weiterhin ist zu beachten, dass es große regionale Unterschiede gibt, denn die Betriebsstrukturen haben Einfluss darauf, welche digitalen Technologien in welchem Umfang bereits ihren Platz in der landwirtschaftlichen Praxis eingenommen haben (z. B. [Ga18]). Während in der internationalen Literatur die Adoption einzelner digitaler Technologien umfangreich, teils kontinuierlich erfasst wird (z. B. [EL20]), konzentriert sich die Literatur zur Situation in Deutschland mitunter auf mögliche Einflussfaktoren auf das generelle Adoptionsverhalten, die gesellschaftliche Akzeptanz [PGG20] oder den Einsatz einzelner Technologien.

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Arbeitsgruppe Digital Farming, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf an der Rott; johanna.pfeiffer@lfl.bayern.de, https://orcid.org/0000-0002-6045-4878; andreas.gabriel@lfl.bayern.de, https://orcid.org/0000-0001-5736-1593; markus.gandorfer@lfl.bayern.de, https://orcid.org/0000-0002-0624-153X

2 Methode

Von der Arbeitsgruppe Digital Farming der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurde eine Online-Umfrage initiiert, welche von der AgriExpert-Gruppe des Deutschen Landwirtschaftsverlages (dlv) unter landwirtschaftlichen Betriebsleiter*innen aller Produktionsrichtungen in Deutschland verteilt wurde (November 2019 bis Januar 2020). Da sich die Stichprobe von insgesamt 591 Befragten sowohl aus Abonnenten von Fachzeitschriften als auch aus Nutzern von verlagsseitigen Online-Portalen und Mitgliedern des Landwirte-Panels von AgriExpert zusammensetzt, erhebt sie keinen Anspruch auf Repräsentativität.

Die Untergliederung der Stichprobe in die Gruppen „Klein“ und „Groß“ basiert auf offiziellen Statistiken zur Betriebsgrößenstruktur landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern in Deutschland ([De19], ohne Stadtstaaten). 461 der insgesamt 591 Fragebögen sind einzelnen Bundesländern zuordenbar. Die Gruppe „Groß“ wird aus den neuen Bundesländern gebildet, die eine durchschnittliche Flächenausstattung von > 100 ha je Betrieb aufweisen (Sachsen, Thüringen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern) und damit als agrarisch großstrukturiert zu beschreiben sind. Die Gruppe „Klein“ wird von den agrarisch kleinstrukturierten Bundesländern repräsentiert, deren durchschnittliche Flächenausstattung als < 100 ha charakterisiert ist. Schließlich sind 415 der befragten Betriebe der Gruppe „Klein“ (≙ 90 % der Stichprobe) und 46 der Gruppe „Groß“ (≙ 10 % der Stichprobe) zuordenbar.

Um die Adoptionsraten zu erfassen, wurden im Fragebogen insgesamt 27 digitale Technologien aufgeführt, zu denen die an der Umfrage teilnehmenden Landwirt*innen angeben konnten, ob sie in ihrem Betrieb eingesetzt werden. Um eine Einschätzung über den „Digitalisierungsgrad“ der landwirtschaftlichen Praxis in Deutschland geben zu können, wird für die beiden Gruppen „Groß“ und „Klein“ der Anteil an Betrieben berechnet, die mindestens eine der bewerteten Technologien im Einsatz haben. Weiterhin wurden mittels Likert-Skalen die Einschätzungen der Landwirt*innen zu den wahrgenommenen Effekten digitaler Technologien auf Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Arbeitsqualität in ihren Betrieben abgefragt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Charakterisierung der Stichprobe

Ein Blick auf die gesamte Stichprobe zeigt, dass etwa zwei Drittel der Betriebe im Haupterwerb und knapp 90 % konventionell geführt werden. Der Anteil an ökologisch bzw. konventionell wirtschaftenden Betrieben unterscheidet sich zwischen den Gruppen „Groß“ und „Klein“ nicht statistisch signifikant (Tab. 1). Es zeigt sich in der Gesamtstichprobe, dass 75 % der Befragten Marktfruchtbau betreiben, 36 % Futterbau

und 50 % Viehhaltung (davon wiederum 70 % Rindermast oder Milchviehhaltung). Sowohl die Flächenausstattung als auch die Anzahl der Tiere unterscheiden sich zwischen den Gruppen „Klein“ und „Groß“. Dass die mittlere Flächengröße im Marktfruchtbau (Haupt- und Nebenerwerb) bei den Befragten in den agrarisch kleinstrukturierten Bundesländern bereits größer als der angenommene Differenzierungswert von 100 ha ist, zeigt, dass diese Teilstichprobe einen wesentlichen Anteil an größeren Betrieben beinhaltet (33,7 % mit Flächenausstattung > 100 ha).

	Klein (n=415)	**Groß (n=46)**	**Vergleichs-parameter**
Marktfruchtbau: Ø Fläche	105 ha (n=306)	896 ha (n=41)	Fläche: t=13,50***
Futterbau: Ø Fläche	77 ha (n=151)	530 ha (n=24)	Fläche: t=9,33***
Rindermast: Ø Tierzahl	82 (n=50)	338 (n=7)	Anzahl: t=3,11**
Milchvieh: Ø Tierzahl	80 (n=85)	564 (n=13)	Anzahl: t=11,11***
Anteil Betriebe im Ökobereich	7 %	11 %	Test nach Fisher (2-seitig): p=0,361
Anteil Betriebe im Haupterwerb	63 %	87 %	Test nach Fisher (2-seitig): p=0,001**

***p<0,001; **p<0,01

Tab. 1: Unterschiede in den Betriebsstrukturen in den beiden Teilstichproben „Groß“ und „Klein“

3.2 Unterschiedlicher Digitalisierungsgrad in „Groß“ und „Klein“

Zunächst wurde der Einsatz von Software bzw. Online-Anwendungen wie Kommunikations- und Handelsplattformen oder Vorhersagemodellen (z. B. für Schädlingsdruck, Wetter) abgefragt (n=461). Bei Vorhersagemodellen gibt es, wie erwartet, hinsichtlich des Einsatzumfangs nur geringe Unterschiede zwischen den Gruppen „Klein“ (51 %) und „Groß“ (52 %). 34 % (Klein) bzw. 39 % (Groß) der Befragten verwenden Kommunikations- und Handelsplattformen (z. B. zum Austausch mit anderen Landwirt*innen, Handel). Farm-Management-Informations-Systeme (FMIS) in der Außenwirtschaft und in der Tierhaltung werden in den agrarisch großstrukturierten Bundesländern fast doppelt so häufig eingesetzt wie in den agrarisch kleinstrukturierten. Betriebe in der Gruppe „Groß“ nutzen mit 46 % (Außenwirtschaft) bzw. 67 % (Innenwirtschaft) entsprechende FMIS häufiger. Bei den Betrieben der Gruppe „Klein“ trifft dies für nur 28 bzw. 36 % zu.

Bei Betrachtung des Einsatzes digitaler Technologien speziell in der Außenwirtschaft (n = 431) zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen „Klein“ und „Groß“. Bei Betrieben der Gruppe „Klein“ sind automatische Lenksysteme (30 %), GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltung (28 %) und Karten aus Satellitendaten (21 %) die anteilig am häufigsten angeschafften und genutzten Technologien. Bei Betrieben der Gruppe

„Groß“ hingegen setzen beachtliche 72 % Lenksysteme, 63 % GPS-gesteuerte Teilbreitenschaltung und 48 % Karten aus Satellitendaten ein. Weitere abgefragte digitale Technologien für die Außenwirtschaft wie Ertragskartierung, georeferenzierte Bodenproben, teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Nah-Infrarot-Systeme, Telemetriesysteme und automatische Anbaugerätelenkung (z. B. bei Hackgeräten) erreichen in den agrarisch kleinstrukturierten Bundesländern momentan Adoptionsraten zwischen 2 % und 9 %. Diese werden in agrarisch großstrukturierten Bundesländern deutlich stärker genutzt (Ertragskartierung 41 %; georeferenzierte Bodenproben 50 %; teilflächenspezifische Bewirtschaftung 28 bis 50 % (je nach Anwendung); Nah-Infrarot-Systeme 9 bis 17 % (je nach Anwendung); Telemetriesysteme 20 % und automatische Anbaugerätelenkung 22 %).

In der Tierhaltung (n = 228) sind Stallkameras sowohl in den agrarisch groß- als auch kleinstrukturierten Bundesländern in etwa gleichermaßen im Einsatz (20 bzw. 21 %). Sensoren zur Verhaltensüberwachung werden bei Tierhaltungsbetrieben in der Gruppe „Groß“ mehr als doppelt so häufig eingesetzt wie in der Gruppe „Klein“ (33 % vs. 16 %). Auch bei automatischen Melksystemen weisen die Betriebe der agrarisch großstrukturierten Bundesländer deutlich höhere Adoptionsraten auf (20 % vs. 14 %).

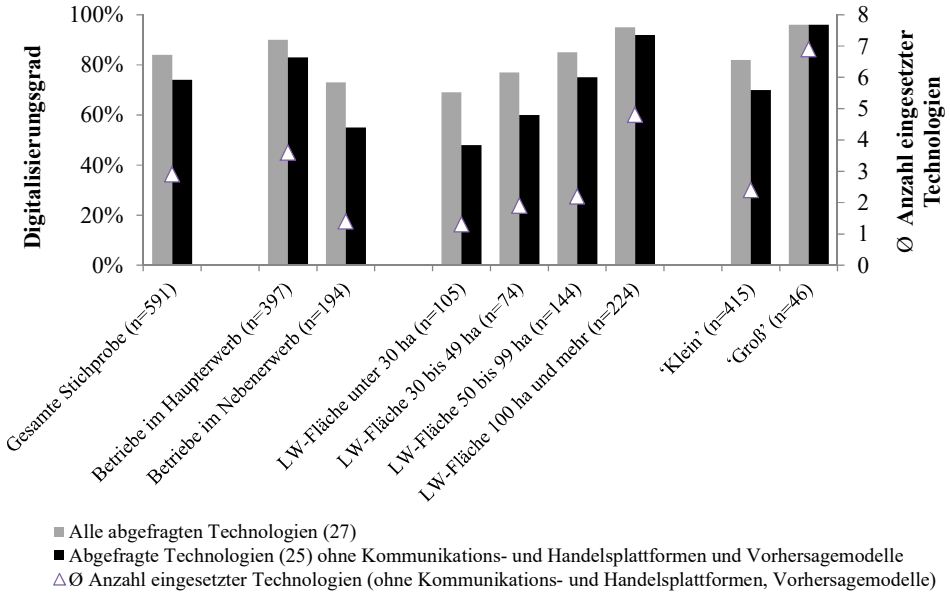


Abb. 1: Digitalisierungsgrad (Anteil an Betrieben, die mind. eine digitale Technologie einsetzen) und durchschnittliche Anzahl eingesetzter digitaler Technologien in der Stichprobe

Bei Betrachtung des Digitalisierungsgrades (Abb. 1) haben 82 % der Betriebe in den agrarisch kleinstrukturierten Bundesländern bzw. 96 % der Betriebe in den agrarisch großstrukturierten Bundesländern mindestens eine der abgefragten digitalen Technologien im Einsatz. Lässt man die beiden abgefragten Technologien ohne größeren Investitionsaufwand (Kommunikations- und Handelsplattformen und Vorhersagemodelle) unberücksichtigt, liegt der Digitalisierungsgrad bei 70 % (Gruppe „Klein“) bzw. 96 % (Gruppe „Groß“). Die Betriebe setzen dann im Mittel 2,4 (Gruppe “Klein“) bzw. 6,9 (Gruppe „Groß“) digitale Technologien ein. Eine Unterteilung der Betriebe nach ihrer Flächenausstattung (unabhängig von der Zuordnung zu agrarisch groß- oder kleinstrukturierten Agrarregionen) in vier Kategorien (< 30 ha; 30 bis 49 ha; 50 bis 99 ha; > 100 ha) verdeutlicht, dass der Digitalisierungsgrad mit zunehmender Flächenausstattung ansteigt. Im Haupterwerb geführte Betriebe weisen einen höheren Digitalisierungsgrad (90 bzw. 83 %) als im Nebenerwerb geführte (73 bzw. 55 %) auf.

3.3 Auswirkungen des Einsatzes digitaler Technologien auf die betriebliche Situation

Bei den Einschätzungen zu den Auswirkungen des Einsatzes digitaler Technologien auf Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Arbeitsqualität auf den Betrieben erfahren alle drei Bereiche sowohl in der Gruppe „Klein“ als auch in der Gruppe „Groß“ im Mittel mehr Zustimmung als Ablehnung (siehe Mittelwerte, Tab. 2).

Statements Einschätzung der Verbesserung durch den Einsatz digitaler Technologien auf dem eigenen Betrieb	**Klein** (n=415) MW	**Groß** (n=46) MW	**Vergleichs-parameter Mann-Whitney-U** U-Statistik (Z)
Die Produktivität ist gestiegen	2,55	1,87	6134,0 (-4,177***)
Die Wirtschaftlichkeit hat sich verbessert	2,88	2,15	6102,0 (-4,190***)
Die Arbeitsqualität hat sich erhöht	2,33	1,70	6229,5 (-4,110***)

Arithmetische Mittelwerte (MW) basierend auf einer fünfstufigen Skala von 1=‘Stimme voll zu’ bis 5=‘Stimme überhaupt nicht zu’; Daten nicht normalverteilt; ***p<0,001 (exakt, zweiseitig)

Tab. 2: Verbesserung der betrieblichen Situation durch den Einsatz digitaler Technologien

Um die Unterschiede zwischen den beiden Größenkategorien statistisch zu erfassen, wurde ein nicht-parametrischer Test angewendet. Der Mann-Whitney-U-Test vergleicht die mittleren Ränge der Angaben in den beiden unabhängigen Teilstichproben. Die wahrgenommenen positiven Effekte werden insbesondere in der Erhöhung der Arbeitsqualität gesehen. Die Statistik lässt erkennen, dass die positiven Effekte bei den agrarisch großstrukturierten Bundesländern signifikant mehr Zustimmung als bei den agrarisch kleinstrukturierten erfahren. Dies lässt sich einerseits dadurch erklären, dass in den agrarisch großstrukturierten Regionen vergleichsweise mehr digitale Technologien auf den Betrieben eingesetzt werden, womit es wahrscheinlicher ist, die positiven Effekte

wahrzunehmen. Die Ergebnisse spiegeln auch wider, dass die auf vielen Betrieben eingesetzten Lenksysteme insbesondere bei größerer Flächenausstattung wirtschaftlich ihr Potenzial entfalten [FGN08].

4 Fazit

Es zeigt sich, dass die Betriebsstruktur insbesondere dann einen Einfluss auf den Einsatzumfang digitaler Technologien hat, wenn es sich um Technologien mit hohem Investitionsbedarf handelt. So sind die Adoptionsraten von Technologien wie Lenksystemen, GPS-gesteuerter Teilbreitenschaltung, Technologien zur Teilflächenbewirtschaftung, automatischen Melksystemen und Sensoren zur Verhaltensüberwachung in den großstrukturierten Agrarregionen vergleichsweise deutlich höher. Kostengünstige Technologien wie Wetter- und Prognose-Apps und Stallkameras hingegen finden sowohl bei den klein- als auch großstrukturierten Agrarregionen in ähnlichem Maße Anwendung. Wenn es also das Ziel ist, die Adoptionsraten von Technologien zur Teilflächenbewirtschaftung aufgrund ihrer Umweltvorteile zu steigern, so scheinen hier Investitionsförderprogramme zielführend.

Literaturverzeichnis

[De19] Destatis – Statistisches Bundesamt: Landwirtschaftliche Betriebe: Betriebsgrößenstruktur landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern 2019, https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Tabellen/betriebsgroessenstruktur-landwirtschaftliche-betriebe.html?view=main[Print], Stand: 10.09.2020.

[EL20] Erickson, B.; Lowenberg-DeBoer, J.: 2019 Precision Agriculture Dealership Survey, https://ag.purdue.edu/digital-ag-resources/wp-content/uploads/2020/03/2019-CropLife-Purdue-Precision-Survey-Report-4-Mar-2020-1.pdf, Stand: 10.09.2020.

[FGN08] Frank, H.; Gandorfer, M.; Noack, P.O.: Ökonomische Bewertung von Parallelfahrsystemen. In (Müller, R.A.; Sundermeier, H.-H.; Theuvsen, L.; Schütze, S.; Morgenstern, M., Hrsg.): Unternehmens-IT: Führungsinstrument oder Verwaltungsbürde? Referate der 28. GIL Jahrestagung, Bonn, Gesellschaft für Informatik e. V., S. 47–50, 2008.

[Ga18] Gargiulo, J.I.; Eastwood, C.R.; Garcia, S.C.; Lyons, N.A.: Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. Journal of Dairy Science 101(6), S. 5466–5473, 2018.

[MBM20] Michels, M.; Bonke, V.; Musshoff, O.: Understanding the adoption of smartphone apps in crop protection. Precision Agriculture 21(6), S. 1187–1208, 2020.

[PGG20] Pfeiffer, J.; Gabriel, A.; Gandorfer, M.: Understanding the public attitudinal acceptance of digital farming technologies: a nationwide survey in Germany. Agriculture and Human Values, S. 1–22, 2020.

Simulation von Phänotypen mittels optimierender linearer Modelle

Thomas Rahimi[1], Regina Roessler[2], Stefanie Klingel[3] und Dirk Hinrichs[1]

Abstract: Für die Tierzucht stellen phänotypische Informationen eine wesentliche Grundlage für Zuchtfortschritt dar [Le16]. Derartige Informationen müssen die Varianz der in der Population vorhandenen Tiere widerspiegeln [VCF93]. Im vorliegenden Versuch wurde die Simulation von Phänotypen mittels linearer Modelle auf Grundlage des LASSO-Algorithmus [Ti96] getestet. Die Umsetzung erfolgt dabei mittels der PCA-Kompression der Zielvariablen, unter Anwendung der gemessenen Koeffizienten. Die Ergebnisse zeigen ähnliche Lagemaße wie die erhobenen Werte. Allerdings weichen die Ergebnisse einzelner simulierter Eigenschaften deutlich ab und die meisten simulierten Eigenschaften weisen eine geringere Varianz als gemessene Werte auf. Zusammenfassend kann gezeigt werden, dass der LASSO-Algorithmus für die Simulation von Phänotypen geeignet ist, allerdings sind noch Optimierungen notwendig.

Keywords: Machine Learning, Phänotypen, Tierzucht, Inferenz, lineare Modelle

1 Einleitung

In der Tierzucht spielen genaue und zuverlässig phänotypische Informationen über die Zuchttiere und ihre Nachkommen eine wichtige Rolle [Le16]. Die ausreichende Erfassung derartiger Informationen stellt besonders bei kleinen Populationen eine Herausforderung dar. Das Fehlen phänotypischer Informationen von vielen Tieren einer Population führt zur Überschätzung der Effekte einzelner Tiere, für die entsprechende Daten vorliegen [VCF93].

Eine Möglichkeit, diese Auswirkungen zu verringern, besteht in der generischen Erzeugung phänotypischer Daten, die auf gemessenen Werten aus der Population basieren. In der Literatur wurden dazu mehrere Ansätze aufgezeigt, die auf unterschiedlichen, statistischen Lernverfahren basieren. Unter der Maßgabe einer parametrischen Verteilung lassen sich die Daten im nicht-überwachten Lernen mittels k-mean und bei nicht-parametrischer Verteilung mittels k-median erzeugen [Gé17]. Eine weitere Möglichkeit besteht in tiefen neuronalen Netzen, die höhere Flexibilität bezüglich der Verteilungsfunktion und der Korrelation mit gemessenen Werten ermöglichen [Be09]. In der vorlie-

1 Universität Kassel, FB11, FG Tierzucht, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen, thomas.rahimi@agrar.uni-kassel.de, dhinrichs@agrar.uni-kassel.de
2 Universität Kassel, FB11, FG Tierzucht, Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen
Mittlerweile: Universität Kassel, FB11, FG Tierhaltung in den Tropen und Subtropen, Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen, regina.roessler@uni-kassel.de
3Arche Warder e.V., Langwedeler Weg 11, 24646 Warder, klingel@arche-warder.de

genden Arbeit wurde der Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) als linearer Prediktionsalgorithmus verwendet. Die umgesetzte Implementierung ähnelt der Referenzimplementierung des LASSO-Algorithmus in der Identifikation von Risikofaktoren für Krebserkrankungen [HTF09, Ti96]. Durch die Nutzung eines linearen Verfahrens unterscheidet sich der gewählte Ansatz deutlich von der bei [SKK19] gewählten Methode eines Random-Forrests zur Simulation von Schlachtdaten bei Schafen. Ziel der vorliegenden Datenanalyse ist die Simulation von Aufzucht- und Schlachtdaten von Schafen mit der Fragestellung, ob sich diese mittels eines linearen Verfahrens simulieren lassen.

2 Material und Methoden

2.1 Daten

Die der Modellierung zugrunde liegenden Daten wurden im Rahmen eines Vergleichsversuchs zwischen männlichen Lämmern der Rassen Weißköpfiges Fleischschaf, Texel-, Suffolk,- und Charollaisschaf erhoben. Dabei wurden von 89 Lämmern Aufzuchtdaten wie Tageszunahme, Fleischigkeit, Bemuskelung und Gewicht erfasst. Zusätzlich wurden von 53 Lämmern Schlachtdaten, wie warmes und kaltes Schlachtgewicht, erhoben.

2.2 Training und Test der Simulations-Funktion

Die Simulation wurde in Python3 mit den Funktionen der scikit-learn-Bibliothek (sklearn) implementiert [Pe11]. Es wurde im Wesentlichen der LASSO-Algorithmus, wie von [Ti96] vorgeschlagen, verwendet, da er eine automatische Selektion von Koeffizienten für das lineare Modell, die durch den Kontrollparameter λ beeinflusst werden kann, ermöglicht [HTF09, 68ff]. Für die vorliegenden Daten bietet der LASSO-Algorithmus weitere Vorteile. Da keine Umweltdaten zu den erfassten Daten vorliegen, was den gegenwärtigen Ansatz von der bei [SKK19] angewendeten Methode unterscheidet, wird ein linearer Zusammenhang zwischen den Werten für Aufzucht und Schlachtung angenommen. Außerdem erlaubt die resultierende Koeffizientenmatrix eine bessere Erklärbarkeit des Modells und bietet somit die Möglichkeit der Optimierung des Ansatzes. In sklearn sind mehrere Implementierungen des LASSO-Algorithmus enthalten, die sich vor allem in der Lösung des quadratischen Teils der Gleichung unterscheiden. Von diesen Implementierungen wurde die Least Angle Regression (LARS) gewählt, die eine besonders effiziente Implementierung darstellt [HTF09, 73ff].

Durch Veränderung des λ lässt sich die Zahl der einbezogenen Koeffizienten für die Gleichung modifizieren. Ein Wert von $\lambda = 0$ führt zu einer linearen Gleichung unter Einbeziehung aller Koeffizienten, bei Erhöhung des Werts für λ entstehen lineare Gleichungen mit zunehmender Anzahl an Koeffizienten [Ti96]. Die Werte für λ werden

anhand der vorliegenden Trainingsdaten ermittelt. Dafür wird eine Erweiterung des LASSO-Algorithmus in sklearn verwendet, mittels dessen sich Optimierungen in linearen Modellen umsetzen lassen. Die Zahl der Iterationen für die Optimierung ist dabei auf die halbe Länge des Datensets gesetzt. Dadurch lassen sich angepasste Werte für λ bestimmen und die Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Daten erhöhen.

Alle Zielvariablen der Simulation werden für die Durchläufe mittels Hauptkomponentenanalyse (PCA) komprimiert, wobei die resultierenden Daten 95 % der vorhandenen Varianz widerspiegeln müssen. Da das Datenset mit 89 Tieren eher klein ist, erfolgt die PCA über Trainings- und Testdaten in einem Schritt. Dadurch lassen sich gemeinsame Eigenvektoren und Mittelwerte (ϕ) bestimmen, die benötigt werden, um die PCA zur PCA_{rev} mittels folgender Formel zurückzurechnen:

$$PCA_{rev} = PC_{scores} \cdot Eigenvector^{T} + \phi$$

Die Hauptkomponenten (PC_{scores}) werden in der Simulation durch den LASSO-Algorithmus bestimmt. Das Training des Modells erfolgt mit einer Teilung der Daten in einen Trainingsdatensatz (80 % der Tiere) und einen Testdatensatz (20 % der Tiere) durch eine Ziehung einer zufälligen, stratifizierten Stichprobe, mit der Rasse als Konstante. Die Daten der Koeffizienten werden bezüglich Mittelwert und Standardabweichung normalisiert. Nach dem Abschluss des Modelltrainings und den zugehörigen Tests wird das Modell als ausführbare Datei gespeichert, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten.

2.3 Erzeugen eines generischen Datensets

Die Erstellung des generischen Datensets nutzt verschiedene Mechanismen, um Daten für die Simulation zu erzeugen. Da die trainierten Modelle Koeffizienten benötigen, um die Zielvariablen zu simulieren, müssen diese in mehreren Schritten erzeugt werden. Ein Teil der Koeffizienten besteht aus vollständig zufälligen Werten, denen keine Verteilungsfunktion zugrunde liegt, während weitere Koeffizienten als normalverteilt innerhalb eines definierten Wertebereichs und bei den restlichen Koeffizienten ein linearer Zusammenhang mit den übrigen Koeffizienten angenommen wird. Bei den vollständig zufälligen Variablen werden zufällige Werte mittels der Python3-Standardbibliothek erzeugt. Für die als normalverteilt angenommenen Variablen werden die Zufallsfunktionen aus der numpy-Bibliothek [WCV11] und bei Variablen im linearen Zusammenhang wird eine erneute Simulation mittels des LASSO-Algorithmus verwendet. Die Vorgehensweise bezüglich Training und Test ist dabei dieselbe wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben. Auf Grundlage der erhaltenen Koeffizienten wird in der Folge das trainierte Modell ausgeführt, um die Aufzucht- und Schlachtdaten zu simulieren.

2.4 Qualitätskontrollen der Algorithmen

Während Training und Test erfolgt eine kontinuierliche Kontrolle der Genauigkeit des Modells durch Ermittlung der Mittleren Abweichungsquadrate (RSME) mittels folgender Formel aus den gemessenen (r_{pred}) und den vorhergesagten Werten (r_{meas}):

$$RSME = \sqrt{\sum \frac{\left(r_{pred} - r_{meas}\right)^2}{n_{samples}}}$$

Weiterhin wird für den Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Testdaten ein paarweiser t-Test mit einem Signifikanzniveau von $p > 0{,}05$ durchgeführt, für den die Implementierung in scipy verwendet wird [Vi20]. Für die simulierten Daten werden die Lagemaße der Quantile und des Medians mit den gemessenen Daten verglichen.

3 Ergebnisse

3.1 Training und Test der Simulations-Funktion

Der direkte Vergleich zwischen simulierten und gemessenen Trainingsdaten bringt für die meisten Eigenschaften hohe Übereinstimmungen zwischen den Daten mit Abweichungsquadraten im überwiegend niedrigen einstelligen Bereich. Nur für das Gewicht des Nierenfetts, die tägliche Zunahme sowie die Nettozunahme lassen sich geringere Übereinstimmungen zwischen gemessenen und simulierten Daten finden, mit Abweichungsquadraten bis zu 93,731 für Nierenfett. In der Auswertung der Lagemaße zeigt sich, dass schlechtere Übereinstimmungen zwischen gemessenen und simulierten Daten zu höheren Standardabweichungen der Eigenschaften führen. Der t-Test ergibt dennoch für alle Eigenschaftspaare aus simulierten und gemessenen Daten p-Werte über dem gewählten Signifikanzniveau von 0,05 und bestätigt damit die Hypothese, dass die gemessenen Daten aus Stichproben derselben Grundgesamtheit stammen. Der Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Daten des Modells zeigt außerdem, dass bei den meisten Eigenschaften eine geringere Varianz vorliegt. Ausnahmen sind hier nur die tägliche Zunahme und das Lebendgewicht am Beginn und Ende des Prüfzeitraums.

Die verwendeten Werte für λ finden sich in Tabelle 1. Diese sind eher niedrig und nehmen für keine Zielvariable 0 an, wodurch eine Selektion der Koeffizienten erfolgt.

Simulationswert	λ
Aufzucht – PCA 1	0,568722
Schlachtung – PCA 1	0,629635
Schlachtung – PCA 2	0,135855

Tab.1: λ-Werte für die einzelnen Simulationen

3.2 Erzeugung eines generischen Datensets

Der LASSO-Algorithmus liefert Ergebnisse, die gemäß der Lagemaße weitestgehend der Verteilung und Varianz in den gemessenen Variablen entsprechen. Die im Training der Simulations-Funktion aufgetretenen Ungenauigkeiten bei einzelnen Eigenschaften, zum Beispiel Nierenfett, führen in der Erzeugung des generischen Datensatzes zu messbaren Abweichungen der Lagemaße bei diesen Eigenschaften. Während für die übrigen Werte Übereinstimmungen zwischen generischen und gemessenen Daten bezüglich der Lagemaße vorliegen, trifft dies für das Gewicht des Nierenfetts, die täglichen Zunahmen sowie das Lebendgewicht nicht zu.

Im Vergleich der Varianzen zwischen generierten und gemessenen Daten fällt eine deutlich geringere Varianz für die meisten Eigenschaften in den generierten Daten auf. Die Ausnahmen sind in diesem Fall die Schlachtgewichte, Nettozunahme, Schulter- und Keulendurchmesser sowie die Keulenbreite.

4 Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Simulation von Phänotypen mittels linearer Modelle für viele Eigenschaften mit zufriedenstellender Genauigkeit funktioniert. Allerdings liefert die gewählte Methode, bei ähnlichen Werten für Quantile und Median, deutlich andere Varianzen. Eine Erklärung für den Verlust an Varianz stellt die PCA-Kompression dar, deren Ergebnis 95 % der vorhandenen Variablen widerspiegelt. Eventuelle Optimierungen bietet hier sowohl die PCA-Kompression, als auch die Rückrechnung zu unkomprimierten Werten. Besonders der addierte Mittelwert sollte für die entsprechenden Eigenschaften darauf hin überprüft werden, ob er die Population gut darstellt. Weitere Optimierungen bestehen besonders für den Wert, den λ annimmt. In der momentanen Implementierung ist der Wert indirekt abhängig vom Stichprobenumfang. Dieses Vorgehen neigt zu Overfitting des Modells, wie bei [SKK19] diskutiert. Hier ist die Vergrößerung der Stichprobe notwendig, um das Modell weiter zu optimieren.

5 Fazit

Es zeigt sich, dass eine Simulation von Phänotypen mittels linearer Modelle bei zufriedenstellenden Genauigkeiten möglich ist. Allerdings zeigen sich die Limitierungen, gerade bezüglich der Größe des verwendeten Datensets für Training und Test des Modells.

Literaturverzeichnis

[Be09] Bengio, Yoshua: *Learning Deep Architectures for AI* : Now Publishers Inc, 2009 — ISBN 978-1-60198-294-0

[Gé17] Géron, Aurélien ; Rother, K. (Übers.): *Praxiseinstieg Machine Learning mit Scikit-Learn und TensorFlow: Konzepte, Tools und Techniken für intelligente Systeme*. Heidelberg : O'Reilly, 2017 — ISBN 978-3-96009-061-8

[HTF09] Hastie, T. ; Tibshirani, R. ; Friedman, J. H.: *The Elements of Statistical Learning : Data Mining, Inference, and Prediction*. 2. ed. New York, NY, 2009 — ISBN 978-0-387-84857-0

[Le16] Leroy, G. ; Besbes, B. ; Boettcher, P. ; Hoffmann, I. ; Capitan, A. ; Baumung, R.: Rare phenotypes in domestic animals: unique resources for multiple applications. In: *Animal Genetics* Bd. 47 (2016), Nr. 2, S. 141–153

[Ma19] Maltecca, Christian ; Lu, Duc ; Schillebeeckx, Constantino ; McNulty, Nathan P. ; Schwab, Clint ; Shull, Caleb ; Tiezzi, Francesco: Predicting Growth and Carcass Traits in Swine Using Microbiome Data and Machine Learning Algorithms. In: *Scientific Reports* Bd. 9 (2019), Nr. 1, S. 6574

[Pe11] Pedregosa, F. ; Varoquaux, G. ; Gramfort, A. ; Michel, V. ; Thirion, B. ; Grisel, O. ; Blondel, M. ; Prettenhofer, P. ; u. a.: Scikit-learn: Machine Learning in Python. In: *Journal of Machine Learning Research* (2011), Nr. 12, S. 2825–2830

[SKK19] Shahinfar, Saleh ; Kelman, Khama ; Kahn, Lewis: Prediction of sheep carcass traits from early-life records using machine learning. In: *Computers and Electronics in Agriculture* Bd. 156 (2019), S. 159–177

[Ti96] Tibshirani, R.: Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. In: *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* (1996), Nr. Vol. 58, No. 1, S. 267–288

[VCF93] Verrier, E. ; Colleau, J. J. ; Foulley, J. L.: Long-term effects of selection based on the animal model BLUP in a finite population. In: *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik* Bd. 87 (1993), Nr. 4, S. 446–454

[Vi20] Virtanen, Pauli ; Gommers, Ralf ; Oliphant, Travis E. ; Haberland, Matt ; Reddy, Tyler ; Cournapeau, David ; Burovski, Evgeni ; Peterson, Pearu ; u. a.: SciPy 1.0–Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. In: *Nature Methods* Bd. 17 (2020), Nr. 3, S. 261–272. — arXiv: 1907.10121

[WCV11] van der Walt, Stéfan ; Colbert, S Chris ; Varoquaux, Gaël: The NumPy Array: A Structure for Efficient Numerical Computation. In: *Computing in Science & Engineering* Bd. 13 (2011), Nr. 2, S. 22–30

Teilflächenspezifische Düngung im Getreide unter den Anforderungen der neuen Düngeverordnung – Wirtschaftliche Potenziale in Verbindung mit Farmmanagementansätzen

Guido Recke[1], Tobias Jorissen[1], Martin Schnare[1] und Silke Becker[1]

Abstract: Aufgrund der neuen Düngeverordnung steigt für landwirtschaftliche Betriebe die Notwendigkeit des effizienten Einsatzes auch von Stickstoffdünger (N) beim Anbau von Getreide. Unter Nutzung aktueller Ansätze der Digitalisierung bei der teilflächenspezifischen Düngung können ökonomische Vorteile genutzt werden. Analysen mit der Linearen Optimierung zeigen, dass bei heterogenen Bodenverhältnissen in einem Schlag höhere Deckungsbeiträge erzielt werden können. Die Analysen zeigen, dass der gezielte Einsatz von Digitalisierung in der praktischen Umsetzung für viele Betriebe eine neue Herausforderung bedeutet, die aber auch wirtschaftliche Chancen bietet.

Keywords: Teilflächenspezifische Düngung, Farmmanagement, Digitalisierung, Düngeverordnung, Lineare Optimierung

1 Problemstellung

Mit der neuen Düngeverordnung [Dü20] und den damit verbundenen Anforderungen zur reduzierten N-Düngung entstehen neue Herausforderungen für die landwirtschaftlichen Betriebe. Durch die neuen Verordnungen bei zum Teil heterogenen Bodeneigenschaften ergeben sich besondere Herausforderungen für das Flächenmanagement. Unter diesen Bedingungen nehmen die Managementanforderungen erheblich zu und verlangen nach innovativen digitalen Ansätzen in Kombination mit Farmmanagementansätzen, um eine gezielte Düngeplanung umsetzen zu können [Su20].

2 Ausgangsituation

Zum 01. Mai 2020 trat in Deutschland die Novellierung der Düngeverordnung, mit dem Ziel, Nitrateinträge aus der Landwirtschaft in die Umwelt zu reduzieren oder zu vermeiden, in Kraft [Dü20]. Anthropogener N zur Erhöhung des Pflanzenwachstums kann bei nicht standortgerechter Ausbringung negative Umweltwirkungen (z. B.

[1] Hochschule Osnabrück, Fachgebiet Landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, g.recke@hs-osnabrueck.de, t.jorissen@hs-osnabrueck.de, m.schnare@hs-osnabrueck.de, s.becker1@hs-osnabrueck.de

Grundwasserbelastung) haben [Su20]. In diesem Zusammenhang sind v. a. Betriebe mit Flächen innerhalb sogenannter „Roter Zonen“ sowie jene mit hohem Viehbesatz betroffen [AG20; Ta14]. Rote Zonen, hoher Viehbesatz und heterogene Bodenverhältnisse sind für Betriebe im Nordwesten Deutschlands typische produktionstechnische Rahmenbedingungen [ML10; Ta14]. Die Anforderungen an das Management dieser Betriebe sind hoch und verlangen nach verlässlichen und kostengünstigen digitalen Ansätzen, um ein zielgerichtetes und ökonomisch sinnvolles Nährstoffmanagement umzusetzen [Sa19; Wa17]. Auf der Grundlage von Literaturrecherchen und Feldversuchen im Rahmen des vom BMEL und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) finanzierten Projektes „Agro-Nordwest“ werden ökonomische Effekte digitaler Ansätze umweltgerechter teilflächenspezifischer N-Düngemethoden unter den Anforderungen der novellierten DüV untersucht. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse zur teilflächenspezifischen Applikation mineralischer N-Düngemittel bei Winterroggen vorgestellt. Die spezifischere Düngung des Bestandes und die Investition in geeignete Technik ist mit Mehraufwand verbunden. Die potentielle Kosteneinsparung durch geringeren N-Einsatz ist marginal, weshalb der Mehraufwand durch Pflanzenwachstum und höhere Qualität (z. B. Proteingehalt) vergütet werden muss [KM20].

3 Methodischer Ansatz

Neben den experimentellen Versuchen werden ergänzende Modellrechnungen mit der Linearen Optimierung durchgeführt. Die Versuche fanden auf praxisüblichen landwirtschaftlichen Schlägen statt. Erstellt wurden Ertragszonenkarten, welche die ertragsstärkenbezogene Heterogenität des Schlages beschreiben [Hi18]. Der Schlag wurde bezugnehmend auf die Fahrgassen in einen „Referenzbereich (RB)“ und einen „Teilflächenspezifischen Bereich (TB)“ eingeteilt, welche nach Möglichkeit jeweils eine ähnliche Verteilung der Ertragszonen aufwiesen. Im Zuge der Versuche wurde unter Verwendung der im Rahmen der Düngeplanung erstellten Applikationskarten ein Schleuderstreuer für die Mineraldüngerausbringung verwendet. Während auf den TB die teilflächenspezifische Düngerapplikation durchgeführt wurde, fand auf den RB eine herkömmliche Düngung (ohne teilflächenbezogene Steuerung der Ausbringtechnik) statt.

Um Ertragswirkungen der teilflächenspezifischen N-Düngung auf die produktionstechnischen Outputs zu untersuchen, sind neben den Erträgen auch die Qualitäten des Erntegutes ein relevanter Teil der nachfolgenden Auswertungen. Die dahingehende Analyse des Proteingehaltes bei teilflächenspezifischer Düngung erfolgt durch einen Großparzellenversuch am Beispiel eines Winterroggenschlages eines Veredlungsbetriebes in Nordwestdeutschland. Der Boden ist heterogen von sandig bis lehmig, steinig, in leichter Hanglage, und die Bodenpunkte betragen 35-50. Der Winterroggenschlag hat eine Größe von 6,03 ha. Der angelegte Großparzellenversuch ist in annähernd gleich großen Teilen in einen RB und in einen TB parzelliert. Die Düngemittelauswahl und Applikationsmenge erfolgte betriebsbezogen. Im RB soll

homogen Mineraldünger gestreut werden. Im TB wird die Düngestrategie in Absprache mit dem Betriebsleiter und einem regionalen Pflanzenbauberater besprochen. Das angebaute Getreide wird ausschließlich für die eigene Schweinemast verwendet. Die Preiswürdigkeit von Winterroggen wird nach der Austauschmethode von Löhr kalkuliert [WPG18]. Abgeleitet wird die Preiswürdigkeit von Winterroggen durch Vergleich dessen Protein- und Energiegehalte mit denen von Winterweizen und Sojaschrot. Die Energie- und Proteingehalte von Winterweizen und Sojaschrot sind der DLG-Futterwerttabelle entnommen [SP14]. Die Proteingehalte von Winterroggen entstammen dem Großparzellenversuch zur teilflächenspezifischen Mineraldüngung.

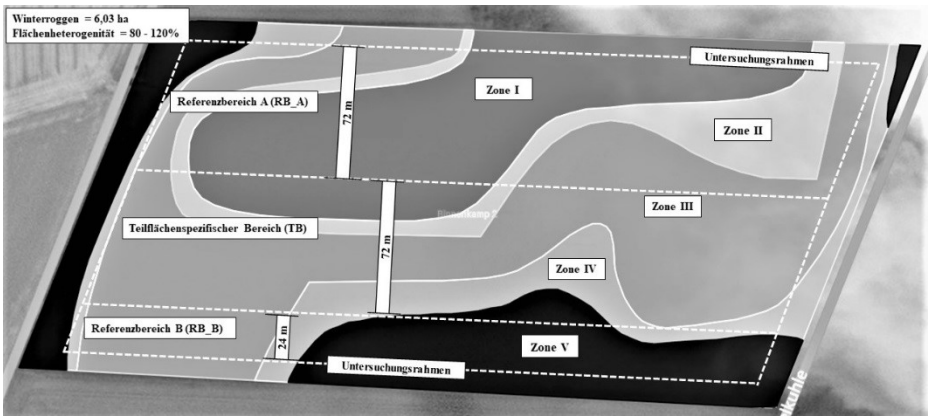


Abb. 1: Eigene Darstellung auf Basis von AGRAVIS NetFarming GmbH

Zur Einschätzung der Ertragskraft des Schlages und Ableitung der Düngestrategie wurde der Service von AGRAVIS NetFarming GmbH gewählt. Auf Basis von Satellitenbildern der Wirtschaftsjahre 2013-2019 wurden fünf Ertragszonen ausgewiesen (vgl. Abb. 1). Die Größen der Zonen betragen bei I = 23 %, bei II = 10 %, bei III = 38 %, bei IV = 11 % und bei V = 18 %. Bei Erstellung des Versuchsdesigns wurde das Vorgewende zur Vermeidung möglicher Randeffekte nicht mit aufgenommen. Die Größen von RB und TB wurden an die Arbeitsbreite (24 m) des Mineraldüngerstreuers angepasst. Für die zwei Mineraldüngegaben im TB wurde eine Flächenheterogenität von 80 % (Zone V) bis 120 % (Zone I) bestimmt. Die Düngegaben erfolgten ertragsorientiert, der Flächenheterogenität angepasst. In einer ersten Mineraldüngergabe wurde durchschnittlich 60 kg N (Ammonsulfatsalpeter) pro Hektar und in einer zweiten Gabe wurde durchschnittlich 35 kg N (Kalkammonsalpeter) appliziert. Zwischen den Mineraldüngergaben erfolgte eine Ausbringung von 85 kg N durch Mastschweinegülle (25 m^3/ha; 3,4 kg N/m^3) aus Flüssigfütterung. Die Probennahme zur Proteinbestimmung erfolge kurz vor dem Mähdrusch in RB und TB, jeweils in jeder Zone, in vierfacher Wiederholung. Gemessen wurde der Wasser- und der Rohproteingehalt. Der Mähdrusch erfolgte mit einem Drescher der Firma Claas, mit einer Schnittbreite von 7,70 m. Die Ertragskartierung erfolgte mittels Claas Telematics. Die Resultate ökonomischer Untersuchungen aus den Versuchen dienen, neben themenrelevanten Kennzahlen aus der Literatur, als Grundlage für

weiterführende Modellierungen. Unter Anwendung der „Linearen Optimierung“ wurden dazu modellmäßig die ökonomischen Effekte der effizienten N-Düngung für einen 5-Zonen 6-ha-Schlag anhand der Richtwertdeckungsbeiträge der Landwirtschaftskammer Niedersachsen [Sc20] untersucht, um die wirtschaftlichen Potenziale bei teilflächenspezifischer mineralischer N-Düngung herauszufinden.

4 Ergebnisse und Diskussion

Bei den Analysen zur Preiswürdigkeit von Winterroggen nach Löhr ergaben sich folgende Ergebnisse: Im Durchschnitt beträgt die Preiswürdigkeit bei RB in Zone 1 = 166 €/t FM, in Zone 2 = 166 €/t FM, in Zone 3 = 169 €/t FM, in Zone 4 = 166 €/t FM und in Zone 5 = 168 €/t FM. Hierbei ist ein Trend in Abhängigkeit der Zonen, die mit gleichen N-Gaben gedüngt worden sind, nicht erkennbar. Bei TB beträgt die Preiswürdigkeit im Durchschnitt in Zone 1 = 163 €/t FM, in Zone 2 = 166 €/t FM, in Zone 3 = 167 €/t FM, in Zone 4 = 166 €/t FM und in Zone 5 = 173 €/t FM. Im Gegensatz zu RB ist bei TB ein Trend bei der Preiswürdigkeit von Winterroggen in Abhängigkeit von Zone und N-Gabe erkennbar. In Bezug auf den gesamten Schlag von 6,03 ha beträgt die mittlere Preiswürdigkeit in RB 168 €/t FM und in TB 1.678 €/t FM. Die Mittelwerte der Preiswürdigkeit zeigen einen marginalen Erfolg der teilflächenspezifischen Düngung. Erste Auswertungen der Ertragskartierung beim Mähdrusch zeigen einen durchschnittlichen Ertrag von 9,4 t/FM (RB +TB).

Die Daten aus den Richtwertdeckungsbeiträgen für Winterroggen bei Ertragsniveaus von 80 bis 100 dt/ha der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für das Jahr 2019 waren die Grundlage für eine 5-Zonen Lineare Optimierungsrechnung. Mit den Daten konnten heterogene Strukturen bei den Böden in modellhaften Wirtschaftlichkeitsberechnungen abgebildet werden. Die Optimierungsrechnungen wurden zunächst für einen 6-ha-Schlag mit prozentual gleich großen Ertragszonen durchgeführt. Zum Vergleich wurde eine Referenzsituation gerechnet, bei der eine einheitliche Bewirtschaftung ohne Berücksichtigung von unterschiedlichen Zonen angenommen wurde, die in der Praxis oft vorzufinden ist. Dabei wurde von einem durchschnittlichen Ertragsniveau von 90 dt/ha für den ganzen Schlag ausgegangen. Hierbei ergab sich ein Deckungsbeitrag auf der Gesamtfläche von 3.951 €. Ein differenziertes Bewirtschaften mit teilflächenspezifischer Düngung mit 5 Zonen und maximal 1.020 kg N-Einsatz (170 kg/ha) auf dem gesamten Schlag ergibt in der Optimierungsrechnung einen Deckungsbeitrag von 4.005 €. Eine Steigerung der N-Gaben auf 180 kg N/ha in der ertragsstärksten Zone mit einer zu erwartenden Ertragssteigerung in der höchsten Ertragszone um 5 % liefert insgesamt einen Deckungsbeitrag von 4.105 €. Weitere Berechnungen mit einer 5 %-igen Ausweitung der ertragsstärkeren Zonen, mit 95 oder 100 dt/ha, aufgrund von ertragssteigernden pflanzenbaulichen Maßnahmen, ergeben wie zu erwarten auch steigende Deckungsbeiträge gegenüber der Referenzsituation. In den Varianten 3 und 4 sind damit Deckungsbeiträge auf dem 6 ha großen Schlag von 4.029 € bzw. 4.129 € zu erzielen.

Variante	N-Einsatz gesamt kg	Deckungs-beitrag gesamt
Referenz (90 dt/ha, 170 kg N/ha)	1.020	3.951 €
1. Variante (80 – 100 dt/ha, 160-170 kg N/ha)	1.006	4.005 €
2. Variante (80 – 105 dt/ha, 160-180 kg N/ha)	1.020	4.105 €
3. Variante (80 – 100 dt/ha, 160-170 kg N/ha, Zone 4 und 5 +5 % Flächenanteil)	1.007	4.029 €
4. Variante (80 – 105 dt/ha, 160-180 kg N/ha, Zone 4 und 5 +5 % Flächenanteil)	1.020	4.129 €

Tab. 1: N-Einsatz und Deckungsbeiträge bei Winterroggen für einen 6-ha-Schlag bei teilflächenspezifischer Düngung und Referenzdüngung

5 Fazit und Ausblick

Erste Modellergebnisse zeigen, dass durch teilflächenspezifische Düngung unter den neuen Anforderungen der Düngeverordnung in Betrieben mit heterogenen Bodenverhältnissen bei gleicher oder reduzierter N-Menge auf den Flächen höhere Deckungsbeiträge erzielt werden können. Daneben können aber auch wirtschaftliche Potenziale bei dem erzeugten Getreide genutzt werden. Die können in der innerbetrieblichen Verwertung des Getreides in der Fütterung liegen. Hier ergibt sich weiterer Forschungsbedarf. Insgesamt zeigt sich aber, dass neuere digitale Ansätze in Verbindung mit Farmmanagementansätzen, wie der Linearen Optimierung, Potenziale für ein effizientes Teilflächenmanagement bei der Düngung bieten. In weiteren Berechnungen sollen noch weitere positive Effekte wie z. B. Einsparungen beim Dünger durch Vermeidung von Überlappungen beim Düngerstreuen und die Kosten für Technik und Umsetzung ergänzt werden. Zusätzlich müssen beim experimentellen Versuch im Winterroggen noch auf Basis der Biomassekarte von Claas Telematics die Erträge der fünf Zonen des RB und TB analysiert und in die Berechnungen eingebunden werden. Diese Effekte werden bei einer Bewirtschaftung Roter Zonen voraussichtlich noch höher ausfallen. Hierzu fehlten im Versuch allerdings geeignete Daten, um die Effekte auszurechnen. Dieses soll in Folgeversuchen im Forschungsprojekt Agro-Nordwest weiter untersucht werden. Bei den Analysen wurden die Aufwendungen für die Erstellung der Applikationskarten nicht berücksichtig. Dies ist insofern bedeutsam, wenn der Vorteil teilflächenspezifischer Düngung marginal ist. Für die landwirtschaftliche Praxis könnte hier zudem die Wahl des Kartenanbieters interessant sein, da unterschiedliche Kostenmodelle für die Erstellung der Applikationskarten und weiteren Services bestehen.

Das Projekt „Agro-Nordwest“ wird durch Mittel des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und des Projektträgers Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung gefördert.

Literaturverzeichnis

[AG20] AVV Gebietsausweisung: Allgemeine Verwaltungsvorschrift der Bundesregierung zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten: AVV GeA. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, 1–41, 2020.

[Dü20] Düngeverordnung: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis: DüV vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846).

[Hi18] Hinck, S.; Mentrup, D.; Kerssen, S.; Kümper, D.: Anwendungsorientierte, webbasierte GIS-Lösung: In A. Ruckelshausen et al.: Digitale Marktplätze und Plattformen, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, 103–106, 2018.

[KM20] Karatay, Y.N.; Meyer-Aurich, A.: Profitability and downside risk implications of site-specific nitrogen management with respect to wheat grain quality. In: Precision Agric 21 (2): 449-472, 2020.

[ML10] ML: Die Landwirtschaft in Niedersachsen. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung, Hannover, 1-48, 2010.

[Sa19] Sarker, N.I.; Ali, A.; Salam, A.; Islam, S.; Mahmud, H.: Promoting digital agriculture through big data for sustainable farm management. International Journal of Innovation and Applied Studies 25 (4), 1235–1240, 2019.

[Sc20] Schindler, M.: Richtwertdeckungsbeiträge 2019. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg, 2020.

[SP14] Staudacher, W.; Potthast, V.: DLG Futterwerttabellen. Schweine. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG). Frankfurt am Main, 2014.

[Su20] Sundermann, G.; Waegner, N.; Cullmann, A.; Hirschhausen, C.; von, Kemfert, C.: Nitratbelastung im Grundwasser überschreitet Grenzwert seit Langem: mehr Transparenz und Kontrolle in der Düngepraxis notwendig. Berlin. DIW Wochenbericht (87), 118–130, 2020.

[Ta14] Tamásy, C.: Intensivierung der Landwirtschaft im Oldenburger Münsterland: Nutztierhaltung im Fokus der Nachhaltigkeit. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 203–207, 2014.

[Wa17] Walter, A.; Finger, R.; Huber, R.; Buchmann, N.: Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (114), 24, 6148–6150, 2017.

[WPG18] Weiß, J.; Papst, W.; Granz, S. (2011) Tierproduktion. Stuttgart: Enke Verlag.

Autonomer Baumschnitt in Streuobstwiesen

David Reiser [1], Jonas Straub[1] und Hans W. Griepentrog[1]

Abstract: Aktuell ist der Betrieb von Streuobstwiesen in Deutschland nicht wirtschaftlich. Daher werden sie meist nur schlecht gepflegt. Streuobstwiesen gelten allerdings als ökologisch äußerst wertvoll, da sie Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten bieten. Durch Automatisierung könnte der Zeitaufwand für die Pflege minimiert, Kosten reduziert und Arbeitsunfälle vermieden werden. Das von der Baden-Württemberg Stiftung geförderte Projekt „Robotik für die Pflege von Streuobstwiesen“ untersucht, wie mithilfe von Robotik ein automatisierter Baumschnitt von Hochstammbäumen erfolgen kann. Hierfür wird in der dreijährigen Laufzeit ein Prototyp mit einem Roboterarm und Werkzeug inklusiver notwendiger Sensorik entwickelt, der einen teilautonomen Baumschnitt durchführen soll. Zuerst wird die 3D-Struktur der Baumkrone mithilfe von Kamera und Laserscanner erfasst. Aus den berechneten Punktewolken erfolgt die Modellierung der Aststrukturen des Baumes. Aus den ermittelten Strukturen kann eine Bewertung des Pflegezustandes des Baumes erfolgen. Anschließend soll ein Schnitt automatisiert oder angeleitet geplant und umgesetzt werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass mithilfe der Sensorik Astschnittpunkte ermittelt und von dem Roboter mit seinem Werkzeug manuell angefahren werden können.

Keywords: Obstbaumschnitt, Roboter, 3D-Punktewolken, LiDAR, Photogrammetrie, Biodiversität

1 Einleitung

Besonders der Süden Deutschlands besteht aus einer kleinräumigen Kulturlandwirtschaft. Streuobstwiesen sind integraler Bestandteil dieser Struktur und sollen auch in Zukunft erhalten bleiben. Besonders der ökologische Nutzen für die Artenvielfalt ist bei Streuobstwiesen deutlich höher als bei intensiv bewirtschafteten Obstanlagen. Jedoch sind Streuobstwiesen aktuell aus ökonomischer Sicht nicht rentabel und werden daher meist nur schlecht gepflegt. Das führt dazu, dass aktuell in Baden-Württemberg über 80 % der Streuobstbäume gar nicht oder nur unregelmäßig geschnitten werden [Ml15]. Für den Erhalt der Bäume ist jedoch ein regelmäßiger Baumschnitt wichtig. Automatisierung kann hier einen sinnvollen Beitrag für den Erhalt der Kulturlandschaft beitragen.

Ein Problem für die Automatisierung in Obstplantagen und Streuobstwiesen ist, dass die satellitenbasierte Navigation sehr unzuverlässig sein kann. Besonders wenn die Bäume höher als die Position der Antenne sind, kann es zu Abschattungseffekten kommen, wodurch die Genauigkeit reduziert wird. Dies ist bei Streuobstwiesen häufig der Fall, was dazu führt, dass sich die Navigation nicht alleine auf Real Time Kinematic Global

[1] Universität Hohenheim, Abteilung Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion, Garbenstr. 9,70599 Stuttgart
dreiser@uni-hohenheim.de, https://orcid.org/0000-0003-0158-6456, jonas.straub@uni-hohenheim.de, hw.griepentrog@uni-hohenheim.de

Navigation Satellite Systems (RTK-GNSS) stützen kann. RTK-GNSS kann als Referenz der Position dienen, muss jedoch mithilfe zusätzlicher Sensorik ergänzt und korrigiert werden [Ha10]. Um den Baumschnitt umsetzen zu können, muss die Aststruktur mithilfe von Sensorik erfasst werden. Es gibt bereits umfangreiche Forschung zur Erkennung von Bäumen und Vegetation aus satelliten- oder luftgestützten Daten [MZL15]. Diese Informationen werden häufig für die Bestimmung von Waldbeständen sowie für die Früherkennung von Krankheiten benutzt. Auch im modernen Obstbau sind bereits verschiedene Dienste vorhanden, die eine Früherkennung von Krankheiten ermöglichen sollen. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, die Wuchshöhe und die Blattfläche mit Sensoren zu bestimmen [Sa13]. Genutzt wurden solche Informationen bisher vor allem mit dem Ziel, der Ertragsoptimierung im Plantagenanbau.

In der Forschung gibt es bereits erste Prototypen für den Schnitt von Weinreben [Bo17] und Obstbauplantagen [LS18]. Jedoch ist der Einsatz bisher nur in reihenbasierten Strukturen umgesetzt, welche leicht als 3D-Modell rekonstruiert werden können. Zusätzlich befinden sich die Schnittpunkte in Bodennähe, was die Bearbeitung vereinfacht. Um solche Maschinen passend für Streuobstwiesen einsetzen zu können, ist innovative Entwicklungsarbeit erforderlich. Ein selektiver automatisierter Baumschnitt eines einzelnstehenden Obstbaumes wurde bisher noch nicht umgesetzt, ebenso wenig die 3D-Rekonstruktion eines Baumes durch eine Rundumfahrt mit einem Roboter für das Extrahieren von Schnittpunkten.

2 Konzept und Projektinhalt

Das Projekt gliedert sich in drei Arbeitspakete: 1. Navigation und Datenaufnahme, 2. Sensordaten-Auswertung und -Analyse, sowie 3. Bearbeitung von Schnittpunkten. Die Arbeitspakete des Projekts sind so gewählt, dass sie unabhängig voneinander bearbeitet werden können. Zusätzlich sollen alle Bereiche durch den Input eines Nutzers ergänzt werden können, sodass bei nicht zufriedenstellender Bearbeitung dem Roboter assistiert werden kann. Beispielsweise kann bei nicht erfolgreicher Navigation und Datenaufnahme der Nutzer die Fernsteuerung übernehmen. Ist die Auswertung der Sensordaten nicht zufriedenstellend, soll der Nutzer die Möglichkeit haben, die Schnittempfehlungen von Hand einzugeben. Falls die Bearbeitung eines Schnittpunktes misslingt, könnte der Nutzer von Hand die Arbeit des Roboters vervollständigen. In jedem Fall ist somit durch ein erfolgreich bearbeitetes Arbeitspaket ein Mehrwert für den Arbeiter sichtbar, welcher die Möglichkeit eines Assistenzsystems für den Schnitt von Hochstammbäumen unterstreicht. Die Arbeitspakete werden nun in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

2.1 Navigation und Datenaufnahme

Als Navigationsplattform wird der Roboter Phoenix verwendet, welcher mit einem Raupenlaufwerk ausgestattet ist [Re17]. Die Plattform verfügt über 10 kW elektrische

Antriebe und kann mithilfe von Linearmotoren das Anbaugerät anheben, kippen und seitlich verschieben. Für die Navigation nutzt das Gerät RTK-GNSS in Kombination mit Light Detection and Ranging (LiDAR), Kamera, Odometrie und IMU. Für das hier beschriebene Projekt ist die Plattform mit einem Universal Robots Roboterarm mit 5 kg Nutzlast (UR5) ausgestattet, der als Sensorträger und Werkzeugsteuerung dient. Als Steuersoftware/Middleware wird ROS verwendet [Qu09]. Der erste Prototyp ist in der folgenden Abbildung 1 zu sehen.

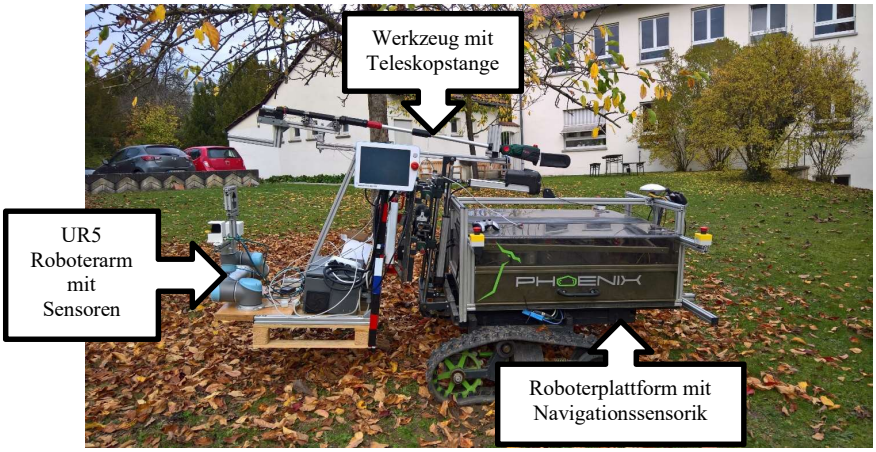


Abb. 1: Aktueller Aufbau des Prototyps in Transportstellung

Zur Bestimmung der Baumstruktur wurde eine Sensorkombination aus LiDAR und Kamera-Technik gewählt, welche auf einen UR5-Roboterarm montiert ist. Das hat den Vorteil, dass die Genauigkeit des Roboterarms für die lokale Sensordatenerfassung genutzt werden kann. Durch die Wiederholgenauigkeit des UR5 von +/- 0.1 mm kann beim Stillstand der Plattform eine hochpräzise Positionierung der Sensorik erfolgen. Als LiDAR wurde ein Sick TiM 571 mit einer maximalen Reichweite von 25 m angebaut. Als Kamera wurde eine 12 Megapixel Raspberry-Pi HQ-Kamera mit C-Mount-Objektiv gewählt. Der LiDAR hat den Vorteil der robusten und effektiven Umgebungserkennung, er ist dafür aber nicht so detailliert und präzise. Die Photogrammetrie-Punktewolken aus den Kamerabildern dienen für die Bestimmung der Schnittempfehlung. Um ein möglichst vollständiges Modell des Baumes zu erhalten, soll der Roboter den Baum umrunden und von mehreren Punkten eine 3D-Punktewolke durch das Bewegen des Roboterarms erstellen. Die Schwierigkeit bei der Punktewolkenerstellung besteht in der passenden Auswahl von Aufnahmepositionen. Für einen hohen Detailgrad der Punktewolke müssen viele Aufnahmen aus unterschiedlichen Perspektiven generiert werden. Die resultierenden Teilpunktewolken werden anschließend mithilfe der Positionierung des Roboters und einem Iterative Closest Point Algorithmus zu einer Punktewolke registriert.

Zusätzlich ist der Tool Center Point (TCP) des UR5-Roboterarms mit einer Fangvorrichtung ausgestattet, um das Bewegen der Sensorik auch ohne Werkzeug zu

ermöglichen. Das Werkzeug ist mit einer Teleskopstange verbunden, um an Hochstammbäumen arbeiten zu können. Die Aufhängung mithilfe eines Gelenks ermöglicht das Ausbalancieren des Werkzeugs, sodass der Roboterarm das Werkzeug leicht an den Schnittpunkt führen kann. In der folgenden Abbildung 2 ist der Roboterarm mit Sensoren und Fangvorrichtung dargestellt.

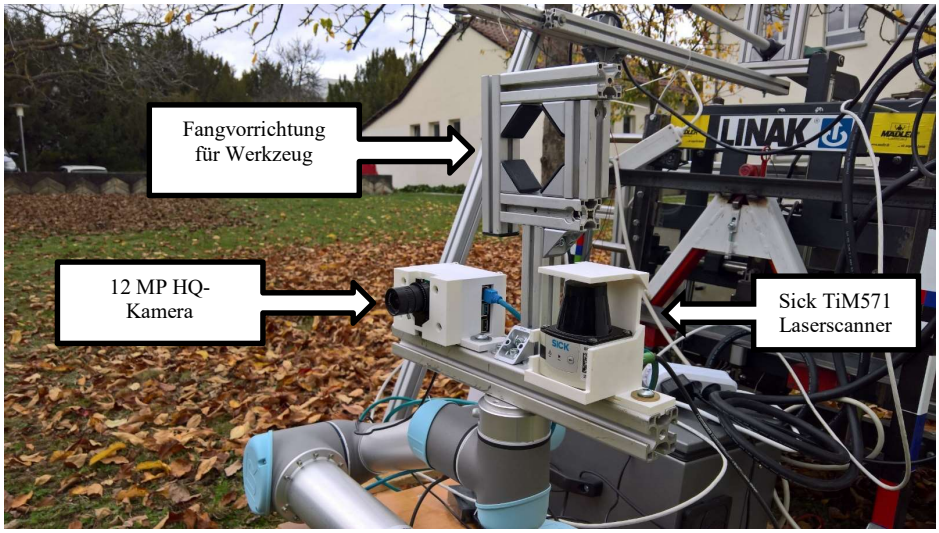


Abb. 2: TCP des UR5-Roboterarms mit Sensoranordnung und Werkzeug-Fangvorrichtung

2.2 Sensordaten-Auswertung und -Analyse

Um aus den Sensordaten die Struktur des Baumes modellieren zu können, sind nach der Datenaufnahme und Georeferenzierung der Daten mehrere Schritte notwendig. Als erstes muss der Hintergrund aus der Punktewolke segmentiert werden. Danach werden Äste, die zu klein für eine Rekonstruktion sind und vernachlässigt werden können, heraussegmentiert, sodass nur noch die relevanten Äste übrigbleiben. Als nächstes wird mithilfe der Baumposition der Leitstamm extrahiert, aus welchem die restlichen Äste herauswachsen. Anschließend können die hinterbliebenen Punkte in einzelne Segmente unterteilt werden. Diese Segmente bilden die Basis, um die Baumstruktur zu rekonstruieren. Die Schwerpunkte der einzelnen Elemente können nun als Nodes eines Graphen genutzt werden. Der daraus entstehende Graph ist die Grundlage, um Berechnungen über Winkel der einzelnen Astelemente umzusetzen. Anschließend kann aus der Verzweigung des Graphen eine Schnittempfehlung z. B. zum Ausdünnen der Baumkrone erfolgen. Die Berechnung der Schnittempfehlung erfolgt durch die Bestimmung der sich überlappenden Aststrukturen und eine vorgegebene Sollstruktur der Baumkrone. In Abbildung 3 ist beispielhaft die Vorgehensweise der Punktewolkenverarbeitung dargestellt.

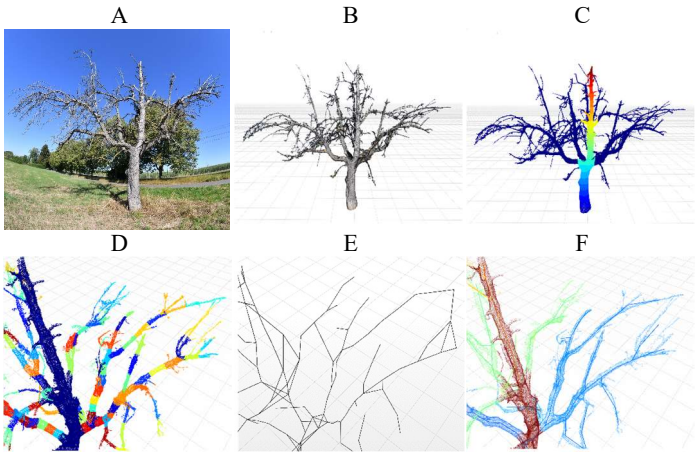


Abb. 3: Beispielhafte Extraktion der Baummerkmale aus einer Punktewolke. A – Originalbild, B – 3D-Punktewolke, C – Bestimmung des Leitstamms, D – Bestimmung der Baumsegmente, E – Graph Struktur, F – Gefilterter Graph mit Punktewolke

2.3 Bearbeitung von Schnittpunkten

Um die ermittelten Punkte zu bearbeiten, muss der Roboterarm ein passendes Werkzeug bedienen können. Dazu bietet sich der Einsatz von Teleskopwerkzeugen an, wie sie üblicherweise beim Baumschnitt eingesetzt werden. Für eine geeignete Positionierung kann bereits auf bestehende Tools aus der Industrierobotik zurückgegriffen werden. Dafür bietet ROS mit dem Package „moveit“ eine geeignete Toolbox, um Wegplanung und Kollisionsvermeidung umzusetzen. Die erste grobe Positionierung erfolgt zuerst über die fahrende Roboterplattform, anschließend durch das Positionieren des Werkzeugs mithilfe des Roboterarms. Diese Positionierung kann zusätzlich durch das Heben und Verschieben der Anbaugerätehalterung am Roboter ergänzt werden.

3 Bisherige Ergebnisse und Diskussion

Erste Tests mit dem entwickelten Prototyp zeigen, dass mithilfe der angebrachten Sensorik (Kamera und LiDAR) und Roboterarm (UR5) präzise 3D-Punktewolken von Streuobstbäumen erstellt werden können. Diese Punktewolken bieten eine ausreichende Genauigkeit, um eine Analyse der Baumstruktur mit der Bestimmung von Schnittpunkten zu ermöglichen. Der Gesamtaufbau des Roboters ist fähig, manuell Schnittpunkte anzufahren und zu bearbeiten. Dies konnte mit ersten fest einprogrammierten Abläufen umgesetzt werden. Jedoch muss für eine erfolgreiche Umsetzung des Projekts eine weitere Optimierung von Werkzeug und Steuerung erfolgen, um eine geeignete Kollisionsvermeidung und Wegplanung in der Praxis umsetzen zu können. Zusätzlich

sollte der Prototyp mit einem geeigneten Sicherheitskonzept ausgestattet werden, um Gefahren für Nutzer und unbeteiligte Personen auszuschließen. Ebenso ist die Bestimmung einer geeigneten und einfach passenden Schnittempfehlung herausfordernd und wird Teil zukünftiger Forschung sein. In Zukunft könnte eine Automatisierung für den Obstbaumschnitt mithilfe von Robotik möglich sein. Ebenso ist der Einsatz des Prototyps als „Decision Support System" denkbar, welche ungeübte Nutzer bei der Pflege unterstützen. Somit könnte Automatisierung und Robotik in Zukunft einen Beitrag zum Erhalt von biodiversen Streuobstwiesen leisten.

Danksagung

Die Autoren danken der Baden-Württemberg Stiftung für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeit im Rahmen des Eliteprogramms für Postdoktorandinnen und Postdoktoranden.

Literaturverzeichnis

[Bo17] Botterill, Tom; Paulin, Scott; Green, Richard; Williams, Samuel; Lin, Jessica; Saxton, Valerie; Mills, Steven; Chen, Xiaoqi; u. a.: A Robot System for Pruning Grape Vines. Journal of Field Robotics Bd. 34 (2017), Nr. 6.

[Ha10] Hansen, Søren; Bayramoglu, Enis; Andersen, Jens Christian; Ravn, Ole; Andersen, Nils Axel; Poulsen, Niels Kjolstad: Derivative free Kalman filtering used for orchard navigation. In: 13th international Conference on Information Fusion, 2010.

[LS18] Long He, James Schupp: Sensing and Automation in Pruning of Tree Fruit Crops: A Review. Agronomy Bd. 8 (2018), Nr. 211.

[MZL15] Mai, Chunyan; Zheng, Lihua; Li, Minzan: Rapid 3D reconstruction of fruit tree based on point cloud registration. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering Bd. 31 (2015), Nr. 2, S. 137–144.

[Ml15] MLR: Streuobstkonzeption Baden-Württemberg, 2015.

[Qu09] Quigley, Morgan; Conley, Ken; Gerkey, Brian; Faust, Josh; Foote, Tully; Leibs, Jeremy; Berger, Eric; Wheeler, Rob; u. a.: ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA workshop on open source software. Bd. 3, 2009.

[Re17] Reiser, David; Martín-López, Javier; Memic, Emir; Vázquez-Arellano, Manuel; Brandner, Steffen; Griepentrog, Hans W.: 3D Imaging with a Sonar Sensor and an Automated 3-Axes Frame for Selective Spraying in Controlled Conditions. Journal of Imaging Bd. 3, 2017.

[Sa13] Sanz, R.; Rosell, J. R.; Llorens, J.; Gil, E.; Planas, S.: Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. Agricultural and Forest Meteorology Bd. 171–172, 2013.

Erfassung von Bestandsheterogenität im Kleegras mithilfe von drohnengestützten RGB- und Multispektraldaten

Tobias Reuter [1], Konstantin Nahrstedt[2], Lucas Wittstruck[2], Thomas Jarmer[2], Insa Kühling[3] und Dieter Trautz[1]

Abstract: Klee-Gras-Bestände haben eine große Bedeutung als Futterpflanzen sowie als Stickstoffquelle. Die Bestandszusammensetzung aus Klee und Gras verändert sich je nach Bodenbedingung (Stickstoffversorgung, Wasserhaltekapazität, Boden-pH etc.) und Bewirtschaftungsform mit der Zeit. UAV-gestützte Bilddaten sind eine effektive Möglichkeit, um Heterogenität im Pflanzenbestand zu erkennen. Diese können die Grundlage für ein teilflächenspezifisches Management bilden. Zu diesem Zweck wurden auf einer ökologisch bewirtschafteten Kleegrasfläche in Belm bei Osnabrück, die sich in eine gedüngte und ungedüngte Teilfläche aufteilt, zu mehreren Terminen im Frühjahr und Sommer drohnengestützte RGB- und Multispektralbilder aufgenommen. Räumliche und temporale Heterogenitäten, welche vermutlich auf Bodenunterschiede zurückzuführen sind, konnten mithilfe von Vegetationsindizes aus den Bilddaten des Kleegrasbestandes ermitteln werden. Aufgrund der Trockenheit im Frühsommer 2020 wurde im Laufe des Untersuchungszeitraums ein Anstieg des Kleeanteils festgestellt. Ein Unterschied zwischen der gedüngten und ungedüngten Variante war nicht an allen Terminen nachweisbar.

Keywords: Grünland, Kleegras, Precision Agriculture, Remote Sensing, UAV

1 Einleitung

Kleegrasgemenge bieten vielfältige Verwendungsmöglichkeiten, vornehmlich als Raufutterquelle [TM11]. Darüber hinaus fixiert der Klee als legumer Mischungspartner atmosphärischen Stickstoff [SP93]. Die meisten landwirtschaftlichen Flächen weisen heterogene Standortbedingungen (Stickstoffversorgung, Wasserhaltekapazität, Boden-pH, etc.) auf. Dies wirkt sich wiederum unterschiedlich auf das Wachstum der Kulturpflanze aus [HJW03]. Im Kleegras kann es bereits innerhalb eines Bereichs von 50 cm zu signifikanten Unterschieden im Bestand (Artenzusammensetzung, Biomasse) kommen [FRW11]. Sowohl Standorteigenschaften als auch Witterungsbedingungen beeinflussen die Bestandszusammensetzung, den Ertrag und die Qualität. Um diese Parameter zu optimieren,

[1] Hochschule Osnabrück University of Applied Sciences Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, Am Krümpel 31,49090 Osnabrück, tobias.reuter@hs-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Institute of Computer Science, Remote Sensing Group, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, lwittstruck@uni-osnabrueck.de
[3] Kiel University, Agronomy and Crop Science, Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel, kuehling@pflanzenbau.uni-kiel.de

ist für jeden Schlag eine umfangreiche separate Bewertung erforderlich. Fernerkundliche Methoden, wie die Aufnahme von Bilddaten mit Unmanned Aerial Vehicle (UAV), ermöglichen es, effektiv Pflanzenparameter von großen Flächen zu bestimmen [IUB19]. Mithilfe von UAVs konnten bereits erfolgreich Pflanzenhöhen, Inhaltsstoffe und Biomasse aus Bilddaten bestimmt werden [FRW11, IUB19].

In der Vegetationsperiode 2020 wurden mehrere Überflüge mit einer RGB- und einer Multispektralkamera durchgeführt, um räumliche und zeitliche Heterogenität im Kleegrasbestand zu erkennen. Zukünftig können diese Informationen für ein teilflächenspezifisches Management genutzt werden.

2 Material und Methoden

Im Juli und August 2020 wurde auf einer ökologisch bewirtschafteten Kleegrasfläche nahe Osnabrück in Belm (Niedersachsen) ein Versuch zur Erfassung und Bewertung von Bestandsanomalien im Kleegras (22 % Rotklee, 11 % Schwedenklee, 11 % Weißklee, 56 % Deutsches Weidelgras) durchgeführt. Dieser gliederte sich in einen *gedüngten* (Hühnertrockenkot) und einen *ungedüngten* Teilbereich. Im Anschluss an den zweiten Mahdtermin des zweiten Nutzungsjahres Anfang Juli erfolgten zu drei ausgewählten Zeitpunkten in-situ-Erhebungen zu unterschiedlichen Vitalitätsparametern des Pflanzenbestandes. In 24 ausgewählten Beprobungsflächen pro Teilbereich (insgesamt 48, angeordnet als 12-m-Raster) wurden neben der Bestandeshöhe die Ertragsanteile für Klee und Gras bonitiert (nach Kl30). Ferner wurde der Anteil an Blattfläche in Relation zur Bodenoberfläche über den Blattflächenindex (LAI) mithilfe des LI-COR LAI-2200C Plant Canopy Analyzer gemessen. Pro Beprobungsfläche wurde für LAI und Bestandshöhe der Mittelwert aus vier Messungen gebildet. Die Beprobungsflächen wurden in einer Größe von 0,25 m x 0,25 m ausgewählt und mithilfe eines differentiellen GPS (STONEX GNSS) eingemessen.

Zeitgleich zu jeder Bonitur erfolgten Drohnenbefliegungen (UAV) mit einer DJI Matrice M210, welche mit einer Multispektralkamera (MicaSense Altum) ausgerüstet war. Diese lieferte Spektralinformationen in den Wellenlängen Blau (475 nm), Grün (560 nm), Rot (668 nm) und Nahes Infrarot (717 und 840 nm). In einer Flughöhe von 25 m zeichnete die Kamera Bilddaten in einer räumlichen Auflösung von 11 mm auf. Zusätzlich konnten durch weitere Überflüge Bilddaten in höherer räumlicher Auflösung (4,4 mm) mit einer DJI Phantom 4 mit RGB-Kamera aufgenommen werden (Flughöhe: 10 m). Die Prozessierung der UAV-Daten erfolgte mit der Bildbearbeitungssoftware AgiSoft Metashape (Version 1.5.3), mit deren Hilfe aus den Einzelaufnahmen ein Orthomosaik generiert werden konnte. Ein im Untersuchungsgebiet ausgelegtes Reflexionspanel ermöglichte eine bandweise radiometrische Kalibrierung der Multispektraldaten. Unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse während des Überfluges wurden über einen Lichteinstrahlungssensor berücksichtigt.

Über Reflexionswerte in den Kanälen Rot (R_R), Grün (R_G) und Blau (R_B) wurde der Triangular Greenness Index (TGI) ermittelt. Dabei werden neben den Spektralinformationen auch die Wellenlängen der aufzeichnenden Bänder (λ_R, λ_G, λ_B) berücksichtigt. Der TGI erlaubt die Bewertung der Chlorophyllkonzentration im Bestand, um Aussagen über die Pflanzenvitalität treffen zu können [Hu11].

$$TGI = -0.5\ [(\lambda R - \lambda B)(RR - RG) - (\lambda R - \lambda G)(RR - RB)] \quad (1)$$

Die Aufnahmen der Multispektralkamera lieferten überdies Spektralwerte im Nahen Infrarot (R_{NIR}), aus denen unter Einbeziehung des Roten Kanals der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) berechnet wurde. Der NDVI gibt Auskunft über die Struktur des Pflanzenbestandes, dessen Vitalität und die vorhandene Biomasse [RHD74].

$$NDVI = (RNIR - RR) / (RNIR + RR) \quad (2)$$

Für die Vergleichbarkeit mit den in-situ-Daten wurde auch für TGI und NDVI pro Beprobungsfläche der Mittelwert gebildet. Unter Einsatz von Korrelationsmodellen konnten die aus den UAV-Aufnahmen gewonnenen Bilddaten ins Verhältnis zu den in-situ Erhebungen gesetzt werden. Diese lieferten Informationen über den statistischen Zusammenhang zwischen den Boniturdaten und den spektralen Indizes. Mit einer ANOVA wurde getestet (Irrtumswahrscheinlichkeit α=0,05), ob die beiden Teilflächen und die drei Termine sich signifikant im NDVI, TGI oder den Boniturparametern Kleeanteil und Bestandeshöhe unterscheiden. Als Post-Hoc-Test wurde der Tukey's HSD (honestly significant difference) Test gewählt (Irrtumswahrscheinlichkeit α=0,05). Die Nachbearbeitung der Orthomosaike, die Berechnung der Indizes, sowie die statischen Testverfahren wurden über die Open-Source-Entwicklungsumgebung R Studio (Version 4.0.3 2020) umgesetzt.

3 Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 1 sind NDVI-Karten zu den drei Beprobungsterminen dargestellt. Während zunächst der NDVI durch die Zunahme der Biomasse vom ersten zum zweiten Aufnahmezeitpunkt stieg, sank er zum letzten Termin (27.08.) wieder. Aus den Bildern ließen sich räumliche Heterogenitäten erfassen. Am östlichen Rand war zu erkennen, dass in diesem Bereich der NDVI geringer war als in den anderen Bereichen. Die Messergebnisse aus Bestandeshöhen und LAI bestätigten diese Beobachtung. Es ist zu vermuten, dass der Boden eine geringere Wasserspeicherkapazität aufweist und sich der Bestand daher schlechter entwickelt.

Die Korrelation zwischen NDVI und LAI war für alle Termine gering (Tab.1). Dies ist auf den Sättigungseffekt des NDVIs bei einem LAI über drei zurückzuführen. Für große Bestände, wie in diesem Fall, eignet sich der LAI nicht zur Abschätzung der Biomasse [IUB19]. Die äußerst geringen Korrelationseffekte für den ersten Aufnahmezeitpunkt begründen sich im Einfluss von Ernteresten und einem hohen Bodenanteil auf die Bilddaten, da die Ernte zu diesem Termin erst zehn Tage zurücklag [XAG20]. Ein weiterer Grund

war der Einfluss wechselhafter Lichtbedingungen auf die Bilddaten, der trotz Lichteinstrahlsensor nicht vollständig kompensiert werden konnte.

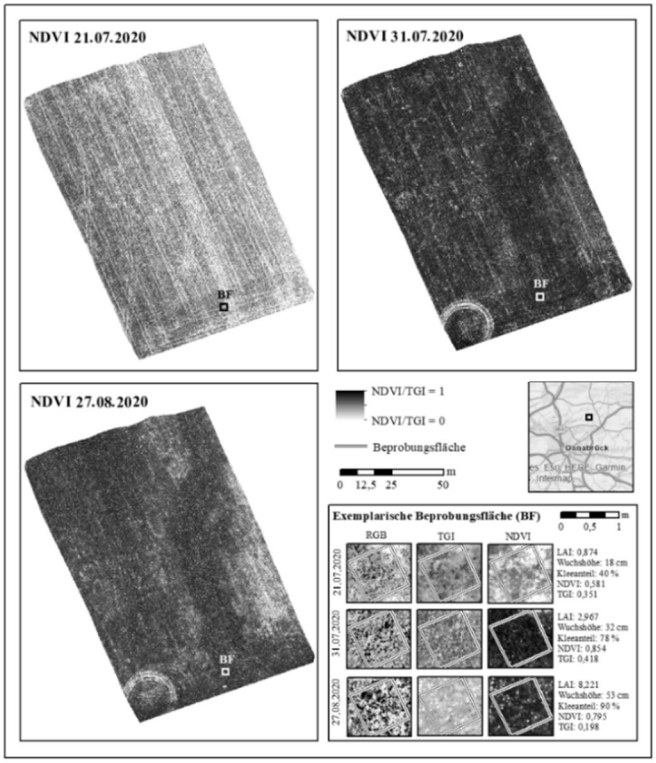


Abb. 1: NDVI-Modelle für die drei Aufnahmezeitpunkte mit exemplarischer Beprobungsfläche dargestellt als RGB- TGI und NDVI-Bild

Diese zeitlichen und räumlichen Veränderungen fanden sich in den in-situ-Untersuchungen der einzelnen Beprobungsflächen wieder. Über den Untersuchungszeitraum konnte ein stetiger Anstieg des LAIs und des bonitierten Kleeertragsanteils beobachtet werden. Die mittleren LAI-Werte betrugen für den 21.07. „1,3“, für 31.07. „2,8“ und den 27.08. „3,9“. Der Ertragsanteil des Klees stieg von 55 auf 73 %. Der NDVI nahm hingegen zum letzten Termin wieder ab. Dies ist wieder mit dem Sättigungseffekt bei hohen LAI-Werten zu begründen [IUB19]. Ferner war zu beobachten, dass sich zu diesem Zeitpunkt bereits ein Großteil der Kleepflanzen im Blütestadium oder darüber hinaus befand, was den NDVI reduziert [XAG20]. Für den TGI war ein ähnlicher Trend zu beobachten. Dies zeigte sich am hohen Korrelationswert der beiden Vegetationsindizes für den 31.07.20. Die überdies geringere Korrelation mit den Boniturdaten gegenüber dem NDVI ist auf die fehlenden Spektralinformationen im Nahen Infrarot zurückzuführen. Für die letzten beiden Termine

wiesen LAI und Kleeanteil einen hohen Korrelationskoeffizienten auf. Aufgrund der Trockenheit wuchs hauptsächlich nur noch Klee und machte den Großteil der Biomasse aus. Dies wird von den Ergebnissen von Ho14 bestätigt.

	LAI	Kleeanteil	Höhe	TGI	NDVI
			21.07.20		
LAI	**1**	0.00	0.39	0.29	0.05
Kleeanteil		**1**	-0.09	0.25	0.22
Höhe			**1**	0.12	0.08
TGI				**1**	0.00
NDVI					**1**
			31.07.20		
LAI	**1**	0.62	0.49	0.43	0.38
Kleeanteil		**1**	0.48	0.48	0.62
Höhe			**1**	0.24	0.33
TGI				**1**	0.85
NDVI					**1**
			27.08.20		
LAI	**1**	0.71	0.82	0.04	0.46
Kleeanteil		**1**	0.75	0.29	0.58
Höhe			**1**	0.07	0.39
TGI				**1**	0.46
NDVI					**1**

Tab. 1: Matrizen mit Korrelationskoeffizienten zwischen den Boniturdaten (LAI, Kleeertragsanteil, Wuchshöhe) und den Vegetationsindizes (TGI, NDVI) für die drei Untersuchungstermine 21.07., 31.07., 27.08.20

Für keinen der beobachteten Termine unterschieden sich die Teilflächen *Gedüngt* und *Ungedüngt* signifikant in den Parametern Ertragsanteil, Bestandeshöhe und NDVI. Zu erwarten gewesen wäre ein höherer Kleeanteil auf der *ungedüngten* Fläche. Vermutlich war der Einfluss der Trockenheit im Sommer 2020 größer als der Effekt der Düngung. Leguminosen sind bei der Stickstoffversorgung weniger stark auf die Wasserversorgung angewiesen als Gräser [Ho14].

4 Schlussfolgerung

Der NDVI eignet sich grundsätzlich, um Heterogenitäten im Feld zu erkennen, auch wenn es zu Ungenauigkeiten bei hoher Biomasse oder nicht-grünen Pflanzenteilen kommt. Der TGI zeigte im Vergleich zum NDVI schwächere Zusammenhänge zu den Bestandpara-

metern. Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Untersuchung kann zukünftig eine Klassifizierung von Kleepflanzen im Versuchsfeld erfolgen, um detailliertere Aussagen zur Bestandsstruktur treffen zu können.

Acknowledgement

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft mit den Förderkennzeichen 28DE103B18 und 28DE103C18.

Literaturverzeichnis

[FRW11] Fricke, T.; Richter, F.; Wachendorf, M.: Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. Computers and Electronics in Agriculture, 79(2), 142–152, 2011.

[HJW03] Hutchings, M.; John, E.; Wijesinghe, D.: TOWARD UNDERSTANDING THE CONSEQUENCES OF SOIL HETEROGENEITY FOR PLANT POPULATIONS AND COMMUNITIES. Special Feature Ecology, 84(9), 2322–2334, 2003.

[Ho14] Hofer, D.: Important differences in yield responses to simulated drought among four species and across three sites. EGF at 50: The Future of European Grasslands. Proceedings of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Aberystwyth, Wales, 7-11 September, 166–168, 2014.

[Hu11] Hunt Jr, E. et.al.: Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. Agronomy journal 103.4, 1090-1099, 2011.

[IUB19] Insua, J.; Utsumi, S.; Basso, B.: Estimation of spatial and temporal variability of pasture growth and digestibility in grazing rotations coupling unmanned aerial vehicle (UAV) with crop simulation models. PLoS ONE, 14(3), 1–21, 2019.

[Kl30] Klapp, E.: Zum Ausbau der Graslandbestandsaufnahme zu wissenschaftlichen Zwecken. Pflanzenbau 6: 197-210, 1930.

[RHD74] Rouse, W.; Haas, H.; Deering, W.: Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains With Erts. Proceedings of the Third ERTS Symposium, 10–14, 1974.

[SP93] Stute, J.; Posner, J.: Legume Cover Crop Options for Grain Rotations in Wisconsin. Agronomy Journal, 85(6), 1128–1132, 1993.

[TM11] Titze, A.; Müller, J.: Optionen des Anbaus von trockenheitsverträglichen Gras-Leguminosen-Gemengen auf diluvialen Grenzstandorten Nordostdeutschlands. In C. K. und G. Riehl (Ed.), Nachhaltigkeit in der intensiven Futtererzeugung. (p. 111). Oldenbrug: Landwirtschaftskammer Niedersachen, 2011.

[XAG20] Xu, D.; An, D.; Guo, X.: The impact of non-photosynthetic vegetation on LAI estimation by NDVI in mixed grassland. Remote Sensing, 12(12), 1–12, 2020.

Reduktion negativer Umwelteffekte mit Hilfe einer teilflächenspezifischen Phosphordüngung

Sören Schulte-Ostermann[1] und Peter Wagner[1]

Abstract: In diesem Beitrag wird die Wirkung unterschiedlicher Phosphorversorgungsstufen im Boden und deren Sekundäreffekte auf andere Nährstoffe betrachtet. Die Analyse basiert auf langfristig gewonnenen Messdaten im Rahmen einer „On-Farm-Research" Versuchsanstellung auf einem Praxisbetrieb in Mitteldeutschland. Mit Hilfe kleinräumiger Ertragsdaten und Nährstoffanalysen der Jahre 2015, 2016 und 2018 wird die ideale Nährstoffversorgung der Pflanzen betrachtet und die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Düngung dargelegt. Die Etablierung technischer Innovationen ermöglicht es, trotz stetiger Verschärfung gesetzlicher Restriktionen die vorhandenen Ressourcen optimal einzusetzen und ebenso die Effizienz des Einsatzes anderer Nährstoffe (z. B. Stickstoff) zu verbessern.

Keywords: Phosphor, bedarfsorientierte Düngung, Ertragseffekt, Precision Farming, Stickstoff

1 Einleitung

Die Reduktion negativer Umwelteffekte, verursacht durch landwirtschaftliche Produktionsverfahren, ist regelmäßig Bestandteil öffentlicher Diskussionen. In diesem Zusammenhang werden auch die Phosphoreinträge in Oberflächengewässer hervorgehoben [Fu10].

Neben einer bedarfsorientieren Stickstoffapplikation ist ebenfalls eine bedarfsorientierte Applikation der übrigen Makronährstoffe notwendig, um auch zukünftig ein optimales Ertragsniveau zu erzielen und demgemäß die Nährstoffnutzungseffizienz zu erhöhen. Die in der landwirtschaftlichen Praxis häufig angewendeten Beprobungsraster von 3 bis 5 ha repräsentieren die tatsächlichen kleinräumig variablen Nährstoffgehalte im Boden nicht. In Abhängigkeit des Standortes führt dies zu einer Fehlapplikation und damit einhergehend zu einer ineffizienten Verwertung von Makronährstoffen. Die flächeneinheitliche Düngung beseitigt das Problem unterschiedlicher Nährstoffniveaus im Boden nicht, sie kann sogar die Heterogenität langfristig steigern und das Ertragspotenzial wird nicht ausgeschöpft [SW18].

Ziel dieses Beitrages ist eine Darstellung, in welchem Ausmaß eine angepasste P-Düngung Erträge optimieren und negative Umwelteffekte reduzieren kann. Zusätzlich sollen Sekundäreffekte zwischen den Makronährstoffen aufgezeigt werden.

[1] MLU Halle-Wittenberg, Professur für landwirtschaftliche Betriebslehre, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Str. 4, 06120 Halle (Saale), soeren.schulte-ostermann@landw.uni-halle.de / peter.wagner@landw.uni-halle.de

2 Methode

Diese Ergebnisse basieren auf einer On-Farm-Research Versuchsanstellung auf einem 65-Hektar-Schlag des Lehr- und Versuchsgutes Görzig der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Seit 2006 werden jährlich eine Vielzahl an Parametern (Ertrag, Makronährstoffe, Sensordaten, usw.) dokumentiert. Die Fläche ist in ein kleinräumiges Beprobungsraster von ca. 1/8 ha aufgeteilt. Die Arbeitsbreite der landwirtschaftlichen Maschinen des Praxisbetriebes determiniert die Parzellengröße von 36 m x 36 m (1.296 m^2).

Stickstoff wird auf dem gesamten Schlag einheitlich appliziert. Im Jahr 2015 erfolgte die N-Düngung am 10.03. mit 92 kg N/ha, am 29.04. mit 76,4 kg N/ha jeweils mit Harnstoff sowie am 28.05. mit 43,2 N kg/ha aus Kalkammonsalpeter. Im Jahr 2016 erfolgte die N-Düngung mit 81,2 kg N/ha am 21.03. und am 19.04. mit 59,8 kg N/ha jeweils aus Harnstoff. In 2018 erfolgte die Startdüngung am 04.04. mit 87,15 kg/ha N und die zweite Gabe am 27.04. mit 56,26 kg N/ha aus Harnstoff.

Um Auswirkungen der Versorgung mit anderen Nährstoffen auf den Ertrag zu vermindern, werden ausschließlich Versuchsparzellen für die Auswertung mit einem für diesen Standort optimalen pH-Wert von 6,3-7,0 (Gehaltsklasse „C“ nach LL19) gewählt. In diesem pH-Bereich ist die allgemeine Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanze optimiert. Für diesen Beitrag werden die Ertrags- und Nährstoffmessungen der Jahre 2015 (Winterweizen) mit n = 178, 2016 (Wintergerste) mit n = 281 und 2018 (Winterweizen) mit n = 269 auswertbare Parzellen analysiert. Die Randflächen werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

3 Ergebnisse

Die folgenden Säulendiagramme stellen die durchschnittlichen Erträge der Rasterparzellen der Jahre 2015, 2016 und 2018 unterteilt nach den Phosphorgehaltsklassen dar (LL19). Die P-Gehaltsklasseneinteilung ist der ersten Spalte der Tab. 1 zu entnehmen. Die unterversorgten Parzellen werden in Gehaltsklasse (GK) „A“ und „B“, die überversorgten Parzellen in der GK „D“ und „E“ eingeteilt. Das Optimum der Nährstoffversorgung ist in GK „C“ erreicht. In jeder Säule wird die Anzahl (n) der ausgewerteten Parzellen ausgewiesen. Der Variationskoeffizient (VK) des Ertrages wird bezogen auf die jeweilige Gehaltsklasse

berechnet und oberhalb der Säulen dargestellt (VK = Standardabweichung / Mittelwert). Auf der Ordinate wird der Ertrag der jeweiligen Kultur in dt/ha abgebildet.

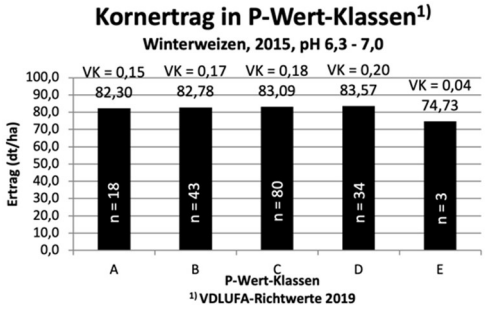


Abb. 1: Ertragswirkung untersch. P-Versorgungsstufen im Boden – Winterweizen 2015

Die Abb. 1 demonstriert die Auswertung des Jahres 2015. In den unterversorgten 18 Parzellen „A“ wird der Weizenertrag mit 82,30 dt/ha dokumentiert (18 x 0,1296 m^2 = 2,33ha Versuchsfläche). Mit einem höheren Phosphorgehalt im Boden steigt der Ertrag auf 82,78 dt/ha in GK „B“. Das höchste Ertragsniveau wird in der Gehaltsklasse „D“ erzielt. Im höchsten Phosphorversorgungsgrad (GK „E“) ist der niedrigste Ertrag von 74,73 dt/ha ermittelt worden, jedoch basiert dies auf der geringen Stichprobe von 3 Parzellen (0,38 ha). Bei der Auswertung werden Variationskoeffizienten von z. B. 0,15 (GK: A) und 0,20 (GK: D) ausgewiesen.

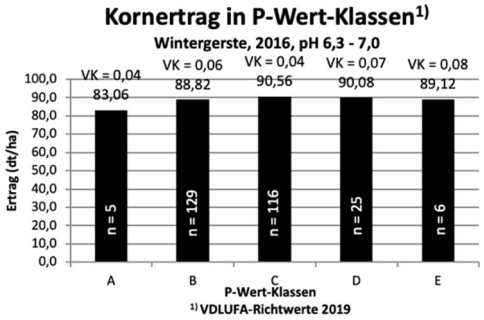


Abb. 2: Ertragswirkung untersch. P-Versorgungsstufen im Boden – Wintergerste 2016

Im Versuchsjahr 2016 (Abb. 2) werden 281 Rasterparzellen ausgewertet (Vgl. 2015 – 178). Auch in diesem Versuchsjahr werden die niedrigsten Erträge in Höhe von 83,06 dt/ha (0,65 ha) in den mit Phosphor schlecht versorgten Versuchsparzellen erzielt, sukzessive steigen die Erträge mit einem höheren Phosphorgehalt im Boden auf 88,82 dt/ha (16,72 ha) in GK „B“ und erreichen den höchsten Ertrag in GK „C“ mit 90,56 dt/ha. Die Variationskoeffizienten variieren zwischen 0,04 bis 0,08. Der VK ist damit im Vgl. zu 2015 erheblich niedriger.

Im letzten betrachteten Versuchsjahr 2018 wird, ebenso wie 2015, der dokumentierte Weizenertrag den Phosphorgehalten zugeordnet. Auch in diesem Diagramm ist ein Anstieg der Erträge von 55,30 dt/ha in GK „B“ auf bis zu 58,38 dt/ha in GK „E“ festgestellt worden. Der Variationskoeffizient ist mit 0,06 bis maximal 0,13 ausgewiesen.

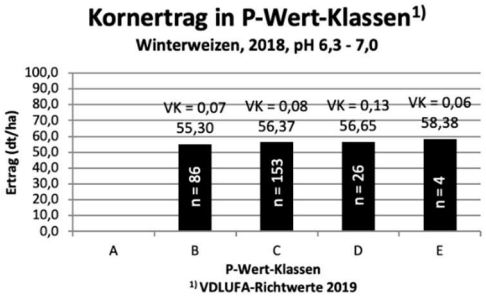


Abb. 3: Ertragswirkung untersch. P-Versorgungsstufen im Boden – Winterweizen 2018

Die Heterogenität der unterschiedlichen P-Gehaltsklassen wird im Jahr 2018 in der folgenden Abb. 4 georeferenziert dargestellt.

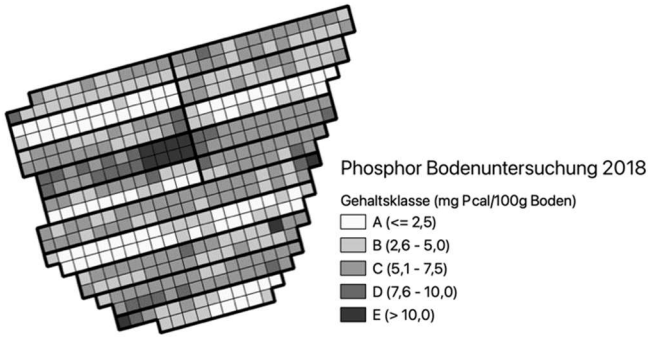


Abb. 4: Verteilung der Phosphorgehaltsklassen 2018 auf dem Versuchsschlag

Tabelle 1 stellt den im Vergleich zur Versorgungsstufe C entgangenen Erlös auf Grund von Ertragseffekten dar. Die erste Spalte beinhaltet die Phosphorgehaltsklassen von „A“ – unterversorgt bis „E“ – überversorgt. Die Anzahl (n) erklärt den analysierten Flächenumfang (n x 0,1296 ha). In dieser Darstellung wird angenommen, dass der maximale Ertrag in Gehaltsklasse „C“ erreicht wird. In der dritten Spalte wird eine Abweichung des Ertrages in GK „A“ von dem optimalen Niveau in „C“ von -0,79 dt/ha kalkulatorisch ermittelt. In GK „B“ tritt ein negativer Ertragseffekt von -0,32 dt/ha 2015 auf. In Gehaltsklasse „D“ wird sogar ein Ertragszuwachs im Vergleich zu „C“ von 0,48 dt/ha generiert. Jedoch konnte auch ein Ertragsrückgang in GK „E“ aufgezeigt werden (n = 3). Die vierte Spalte beinhaltet den akkumulierten Minderertrag für die jeweiligen Versuchsparzellen. In der Literatur konnte kein Ertragsrückgang durch zu hohe Phosphorgehalte im Boden identifiziert werden, deshalb wird in den hoch versorgten Parzellen kein Ertragsrückgang

in der Auswertung berücksichtigt (Mind. Y = 0,00). Letztendlich wird über die gesamte Versuchsfläche ein Mindererlös bei einem Weizenpreis von 17 €/dt mit 2,66 €/ha bestimmt. Ebenso werden 12,70 ha der ausgewerteten 23,07 ha Gesamtfläche nicht optimal mit Phosphor versorgt. Bei der Wintergerste (2016) konnten sogar erheblich höhere Ertragseffekte dokumentiert werden. Der Mindererlös wird mit 14,02 €/ha ausgewiesen. Dies wird im Wesentlichen durch die hohen Ertragsverluste in GK „B“ von -29,18 dt/ha (Bezug auf Gesamtfläche in GK: B) determiniert.

P	Winterweizen 2015			Wintergerste 2016			Winterweizen 2018		
Klasse (mg Pcal/100g Boden)	*n*	*Abw. v. GK:C (dt/ha)*	*Mind. Y (dt)*	*n*	*Abw. v. GK:C (dt/ha)*	*Mind. Y (dt)*	*n*	*Abw. v. GK:C (dt/ha)*	*Mind. Y (dt)*
A (<= 2,5)	18	-0,79	-1,85	5	-7,50	-4,86	0	0,00	0,00
B (2,6 - 5,0)	43	-0,32	-1,76	129	-1,75	-29,18	86	-1,06	-11,86
C (5,1 - 7,5)	80	0,00	0,00	116	0,00	0,00	153	0,00	0,00
D (7,6 - 10,0)	34	0,48	0,00	25	-0,48	0,00	26	0,29	0,00
E (> 10,0)	3	-8,36	0,00	6	-1,45	0,00	4	2,01	0,00
Ø Mindererlös Gesamtfläche (€/ha)*			**-2,66**			**-14,02**			**-5,78**
Gesamtfläche (ha)			**23,07**			**36,42**			**34,86**
Fehlerhaft behandelte Fläche (ha)			**12,70**			**21,38**			**15,03**

*Verkaufspreis: Winterweizen 17,00 €/dt, Wintergerste 14,50 €/dt

Tab. 1: Fehlbehandlung und Mindererlös in Abhängigkeit der Kultur

4 Diskussion

Durch die zurzeit recht geringen Fallzahlen in den Nährstoffklassen sind die Ergebnisse statistisch nicht absicherbar und damit nur bedingt aussagekräftig; sie geben aber doch deutliche Hinweise auf die Reaktion der Kornerträge auf die Nährstoffversorgung. Die Versuchsergebnisse deuten auf einen geringeren Ertrag bei einer Unterversorgung mit Phosphor hin. Der geringe Ertragsabfall in hohen Versorgungsstufen im Jahr 2015 und 2016 wird vermutlich auf andere Ursachen auf dem Standort zurückzuführen sein und erfordert weitere Analysen. Bezugnehmend auf die Literatur ist der Ertragsrückgang bei einer suboptimalen Versorgungsstufe nicht ausschließlich auf Phosphor zurückzuführen. Interaktionen zwischen den Makronährstoffen generieren eine Vielzahl an Sekundäreffekten. In diesem Kontext demonstrieren Versuchsergebnisse des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft, dass eine Verbesserung der Phosphorgehalte im Boden die N-Verwertung der Pflanzen steigert [Gr14]. Durch eine ausbalancierte Grundnährstoffversorgung lässt sich die Stickstoffverwertung verbessern und ein vergleichbares oder sogar höheres Ertragsniveau erzielen [Gr14]. Darüber hinaus benennt das Umweltbundesamt den Einsatz von Präventionsmaßnahmen im Rahmen des Düngemanagements als besonders wichtig, um negative Effekte auf das Grundwasser durch eine suboptimale Düngung zu vermindern. Denn ein angepasstes Düngemanagement generiert geringe gesellschaftliche Kosten, um nachhaltig auch das Grundwasser zu schützen [Oe17]. Die Berücksichtigung unterschiedlicher P-Nährstoffniveaus im Boden (Abb. 4) ist in diesem Kontext erforderlich, um langfristig Erträge zu optimieren und negative Umwelteffekte durch eine suboptimale P-

Verteilung zu vermeiden. Denn die teilflächenspezifische Düngung homogenisiert die Nährstoffniveaus im Boden und überversorgte Flächen werden nicht mehr vorhanden sein.

Die in diesem Beitrag betrachteten Kulturen (Winterweizen, Wintergerste) demonstrieren einen Trend, dass ein optimaler P-Gehalt im Boden zu einem höheren Ertrag führt. Jedoch scheinen Abweichungen zwischen den Kulturen zu bestehen. In der Literatur werden z.B. Leguminosen genannt, deren Anbau in den letzten Jahren stark in Deutschland gestiegen ist [St20]. Die Stickstoffbindung der Knöllchenbakterien ist durch ein Phosphordefizit erheblich verringert, womit sogar der für die Folgekultur verfügbare Stickstoff im Boden limitiert sein kann [Ca08]. Die Wechselwirkungen zwischen den Makronährstoffen (z.B. P, K und N) können darüber hinaus auch die Biomasseentwicklung der Wurzel und der Wurzellänge restringieren [Du18]. Eine einseitige Betrachtung der „klassischen" Makronährstoffe bzw. Stickstoff ist in Anbetracht wachsendender Umweltprobleme nicht zielführend. Die Versuchsergebnisse, sowie Literatur, deuten darauf hin, dass die Interaktion von Phosphor mit anderen Nährstoffen (z.B. Stickstoff) in Zukunft noch weiter untersucht werden sollte.

Die Autoren danken dem BMBF und dem PTJ für die Finanzierung des Projektes.

Literaturverzeichnis

[Ch08] Chaudhary, M.I.; Adu-Gyamfi, J.J.; Saneoka, H.; Nguyen, N.T.; Suwa, R.; Kanai, S.; El-Shemy, H.A., Lightfoot, D.A.; Fujita, K.: The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. Acta Physiologiae Plantarum. 30 (4), S. 537–544, 2008.

[Du18] Duncan, E.G.; O'Sullivan, C.A.; Roper, M.M.; Palta, J.; Whisson, K.; Peoples, M.B.: Yield and nitrogen use efficiency of wheat increased with root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 181 (3), S. 364–373, 2018.

[Fu10] Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Götz, T. Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS, S. 108ff. 2010.

[Gr14] Grunert, M.: Verbesserung der Stickstoff- und Phosphoreffizienz im Pflanzenbau nach Schliepake, in Fachinformationsveranstaltung Düngung, 2014.

[Oe17] Oelmann, M.; Czichy, C.; Scheele, U.; Zaun, S.; Dördelmann, O.; Harms, E.; Penning, M.; Kaupe, M.; Bergmann, A.; Steenpaß, C.: Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung. 43 (1), 2017.

[St20] Statistisches Bundesamt: Ackerland nach Hauptnutzungsarten und Kulturarten, 2020.

[SW18] Schulte-Ostermann, S.; Wagner, P.: Ökonomische Effekte einer bedarfsgerechten Grunddüngung. Informatik in der Land und-, Forst- und Ernährungswirtschaft. 38. Digitale Marktplätze und Plattformen, S. 227–230, 2018.

[LL19] LLG: Richtwertsammlung Düngerecht. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2019.

Analyse der teilflächenspezifischen Nitratauswaschungspotenziale auf Ackerschlägen

Johannes Schuster [1], Martin Mittermayer[1], Ludwig Nätscher[1], Franz-Xaver Maidl[1] und Kurt-Jürgen Hülsbergen[1]

Abstract: Räumlich variierende Bodeneigenschaften haben Wirkungen auf die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit und beeinflussen das Pflanzenwachstum, die Stickstoffaufnahme und -effizienz. Mit digitalen Technologien (schleppergetragene Sensoren, Volumenstrommessungen im Mähdrescher) wurde nachgewiesen, dass auf Ackerschlägen bei schlageinheitlicher N-Düngung trotz einer ausgeglichenen N-Bilanz des Gesamtschlages teilflächenspezifisch positive und negative N-Salden auftreten können [Mi20]. In dieser Arbeit soll mittels Tiefbohrungen geprüft werden, ob teilflächenspezifische positive N-Salden in Niederertragszonen zu erhöhten Nitratauswaschungspotenzialen führen. Auf einem 6,9 ha großen Untersuchungsschlag wurden hierzu Tiefbohrungen in hoher räumlicher Auflösung bis 2,5 m durchgeführt und die Nitratvorräte schichtweise bestimmt. Sowohl bei Bodenparametern (C_{org}- und N_t-Gehalt im Ap-Horizont, N_{min}-Vorrat bis 2,5 m Tiefe) als auch bei Pflanzenparametern (Ertrag, N-Entzug) und N-Salden wurde eine hohe räumliche Variabilität festgestellt. Die Korrelation zwischen C_{org}-Gehalten und N_t-Gehalten beträgt r = 0,96, zwischen C_{org}-Gehalten und N-Entzügen r = 0,63, zwischen C_{org}-Gehalten und NO_3-Vorräten r = -0,10, zwischen C_{org}-Gehalten und NH_4-Vorräten r = -0,83, zwischen N-Saldo und NO_3-Vorräten r = 0,11 und zwischen N-Saldo und NH_4-Vorräten r = 0,55. Die Methodik hat sich bewährt, um teilflächenspezifische Nitratauswaschungspotenziale auf Ackerschlägen zu identifizieren und soll nun an weiteren Standorten bzw. Bewirtschaftungseinheiten angewandt werden.

Keywords: Precision farming, spatial variability, nitrate leaching, deep drilling

1 Einleitung

Zu hohe Nitratverluste auf landwirtschaftlichen Nutzflächen gefährden das Grund- und Trinkwasser. Mehr als ein Viertel der oberflächennahen Grundwasserkörper in Deutschland überschreiten den Grenzwert von 50 mg Nitrat pro Liter [BM12]. Ein Großteil der Nitrateinträge in das Grundwasser stammt aus der Landwirtschaft. Landwirtschaftlich genutzte Acker- und Grünlandflächen weisen eine natürliche Variabilität der Bodeneigenschaften auf. Dies betrifft u.a. die Bodentextur, die nutzbare Feldkapazität, den organischen Kohlenstoff- und den Gesamtstickstoffvorrat. Die kleinräumigen Unterschiede in-

[1] Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökolandbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising, johannes.schuster@tum.de https://orcid.org/0000-0000-0000-0000, martin.mittermayer@tum.de, ludwig.naetscher@tum.de, maidl@wzw.tum.de, kurtjuergenhuelsbergen@tum.de

nerhalb eines Ackerschlages haben Wirkungen auf die Wasser- bzw. Nährstoffverfügbarkeit und beeinflussen dementsprechend das Pflanzenwachstum, die Stickstoffaufnahme und -effizienz. Bei schlageinheitlicher organischer und mineralischer Düngung führt die Heterogenität der Stickstoffaufnahme innerhalb von Schlägen zu differenzierten N-Salden [Mi20]. Der N-Saldo beschreibt dabei das teilflächenspezifische Stickstoffverlustpotenzial. Es ist daher anzunehmen, dass hohe N-Salden in den Niedrigertragsbereichen zu erhöhten Nitratausträgen führen.

In dieser Arbeit wurden in der Untersuchungsregion Burghausen/Burgkirchen (Landkreis Altötting, Bayern) mit digitalen Technologien unter Verwendung schleppergetragener Sensoren die räumliche Variabilität von Getreidebeständen (Weizenertrag, Korn-N-Entzug) erfasst und teilflächenspezifische N-Salden berechnet. Zur Ermittlung des teilflächenspezifischen Nitrataustragspotenzials wurden die Nitrat-, Ammonium- und N_{min}-Vorräte in einer hohen räumlichen Auflösung auf Teilschlagebene mittels Tiefbohrungen ermittelt und in Beziehung zu den berechneten N-Salden gesetzt. Zur Interpretation der Ergebnisse und Analyse der Einflussfaktoren wurden verschiedene Bodenparameter (Gehalte an C_{org}, N_t, P, K, pH-Wert, nFK) verwendet. Ziel war es, Schlagareale zu identifizieren, in denen ein erhöhtes Nitrataustragspotenzial vorhanden ist.

2 Material und Methoden

2.1 Standort und Klima

Die Untersuchungen wurden im Raum Burghausen (400 m ü.d.M.) durchgeführt. Im Mittel von 25 Jahren ergibt sich aus Wetterdaten der nächstgelegenen Wetterstation (Frieding) eine jährliche Niederschlagssumme von 866 mm und eine Durchschnittstemperatur von 8,9 °C. Das Jahr 2020 war charakterisiert durch ein trockenes und warmes Frühjahr, gefolgt von einer niederschlagsreichen Sommer- und Herbstzeit mit mittleren Temperaturen.

Als Untersuchungsschlag wurde das „Hausfeld“ gewählt, ein 6,9 ha großer Ackerschlag mit 55 bis 62 Bodenpunkten (Bodentyp Braunerde). Im Untersuchungsjahr 2020 stand auf dem „Hausfeld“ die Fruchtart Winterweizen.

2.2 Datenerfassung und Bodenbeprobung

Zur Bestimmung der räumlichen Variabilität des Schlages wurden verschiedene Boden- und Pflanzenparameter erhoben. Die Pflanzenparameter (Ertrag, N-Entzug) wurden mittels Mähdrescher-Ertragserfassung (Volumenstrommessung) bei der Weizenernte sowie zu 3 Terminen in der Vegetation mit einem traktormontierten multispektralen Sensor erfasst. Mit den Daten der Reflexionsmessung wurde der Vegetationsindex REIP berechnet. Nach dem Algorithmus von Maidl [Ma19] wurde mit den REIP-Werten die N-Aufnahme des Weizens berechnet.

Zur Erfassung der Variabilität von Bodeneigenschaften wurden verschiedene Bodenparameter erhoben. Es wurden georeferenziert 60 Bodenproben bis zur Krumentiefe (0 – 30 cm) mit Göttinger Bohrstöcken zur Erfassung von organischem Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t), pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium (P_{CAL}, K_{CAL}), pH-Wert und Bodenart gezogen. Eine Bodenprobe entspricht einer Mischprobe von 12 Einstichen im Umkreis von maximal 50 cm des georeferenzierten Punktes.

Zur Bestimmung der Ammonium- und Nitratvorräte bis zu einer Tiefe von 2,5 Metern im Abstand von 50 cm wurden an 30 Punkten Tiefbohrungen mit einem traktormontierten hydraulischen Tiefbohrgerät an den gleichen Referenzpunkten der Hand-Beprobung durchgeführt.

2.3 Datenauswertung

Die geostatistische Auswertung der Daten lehnt sich an die Vorgehensweise von Mittermayer et. al [Mi20] an. Alle Datensätze wurden durch Interpolation mit dem Kriging-Verfahren [Ma63] in Raster gleicher Auflösung (10 x 10 m) überführt. Es wurden Variogramme (Varianz der Daten nach Distanzklassen) erstellt. Am Schlagrand wurden 10 m Rand weggeschnitten.

Für jedes Rasterelement wurde ein N-Saldo (kg ha^{-1} a^{-1}) durch N-Bilanzierung (N-Input – N-Output) berechnet. Der N-Input ergibt sich aus dem schlageinheitlich applizierten Mineraldünger-N und dem Gesamt-N aus der organischen Düngung. Der N-Output wurde aus dem Korn-N-Entzug und mit 2 Methoden berechnet:

(a) Kornertrag (Mähdrescher Volumenstrommessung) multipliziert mit dem mittleren N-Gehalt des Korns (Mischprobe des Gesamtschlages)
(b) Berechnung des Vegetationsindex REIP auf der Grundlage von Reflexionsmessungen und Verwendung des N-Entzugs-Algorithmus nach Maidl [Ma19].

Mit Korrelationsanalysen werden die Zusammenhänge zwischen Boden- und Pflanzenparametern sowie den N-Salden untersucht.

3 Ergebnisse

3.1 Räumliche Variabilität von Pflanzenparametern und N-Saldo

Der mit dem Mähdrescher erfasste Korn-Ertrag schwankte innerhalb des Schlages zwischen 8,5 und 10 t ha^{-1}, die berechnete Korn-N-Aufnahme zwischen 160 und 200 kg ha^{-1} (Abb.1). Die mit verschiedenen Methoden bestimmten Erträge korrelieren miteinander

(r = 0,37). Die teilflächenspezifischen N-Salden betrugen 0 bis 25 kg ha^{-1} (Abb.1). Im Untersuchungsjahr waren deshalb keine hohen Stickstoffverluste zu erwarten.

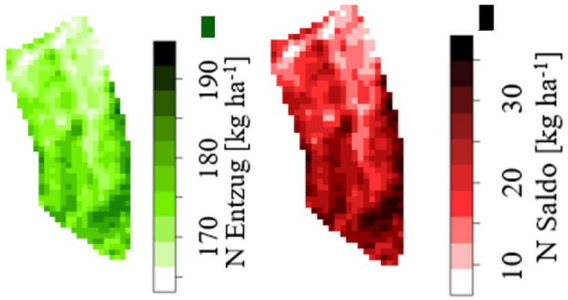


Abb.1: Hausfeld, N-Entzug links, N-Saldo rechts

3.2 Räumliche Variabilität von Bodenparametern im Ap-Horizont

Die untersuchten Bodenparameter differierten innerhalb des Schlages stark. Die C_{org}-Gehalte schwankten zwischen 1,30 und 2,01 % (Mittelwert 1,56 %), die N_t-Gehalte zwischen 0,12 und 0,21 % (Mittelwert 0,16 %) (Abb.2). Die C_{org}- und N_t-Gehalte korrelieren (r = 0,96) und zeigen ähnliche Verteilungsmuster. Es konnten Zonen mit höheren und niedrigeren Humusgehalten (Humus = C_{org} x 1,72) erkannt werden.

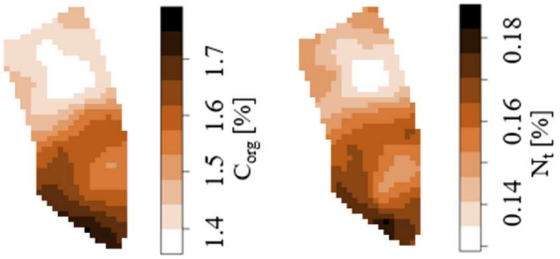


Abb. 2: Hausfeld: C_{org}- (links) und N_t-Gehalt (rechts)

In Zonen mit höheren C_{org}- und N_t-Gehalten („Hochertragszonen“) wurden höhere Weizenerträge und N-Entzüge festgestellt als in den „Niederertragszonen“.

Parameter	N-Aufnahme Mähdrescher	N-Aufnahme Sensor
C_{org}	0,21	0,63
N_t	0,21	0,61

Tab. 1: Korrelationsmatrix mit Boden- und Pflanzenparametern (Korrelation in r)

3.3 Teilflächenspezifische Stickstoffvorräte

Mit den flächigen Tiefbohrungen (ca. 5 Tiefbohrungen ha^{-1}) wurden Nitrat- und Ammoniumvorräte bis zu einer Tiefe von 2,5 m gemessen. Im Unterboden anstehender Schotter begrenzte dabei die Bohrtiefe.

Summiert über die Profiltiefe betrugen die Nitratvorräte 33,7 – 159,1 kg ha^{-1} (Mittelwert = 76,6 kg ha^{-1}). Es wurden auch in tieferen Bodenschichten differenzierte Ammoniumvorräte gemessen. Die Ammoniumvorräte schwankten bis 2,5 m zwischen 12,6 und 219,1 kg ha^{-1} (Mittelwert = 76,0 kg ha^{-1}). Die Gesamtmenge an löslichem Stickstoff N_{min} schwankte zwischen 52,7 und 326,4 kg ha^{-1} (Mittelwert = 152,5 kg ha^{-1}) (Abb.3). Boden- und Pflanzenparameter zeigen bei Nitrat einen schwachen, bei Ammonium und N_{min} einen mittleren bis hohen Zusammenhang, wie Tabelle 2 zeigt.

Parameter	NO_3 0-2,5 m	NH_4 0-2,5 m	N_{min} 0-2,5m
C_{org}	-0,10	-0,83	-0,77
N-Aufnahme Sensor	-0,11	-0,63	-0,55

Tab. 2: Korrelationsmatrix mit C_{org} bzw. Pflanzen-N-Entzug nach Sensor und Nitrat-, Ammonium- und N_{min}-Vorräten bis 2,5 m (Korrelation in r)

In Zonen des Hausfeldes mit höheren C_{org}-Gehalten (Humusgehalten) wurden geringere NH_4-Vorräte festgestellt.

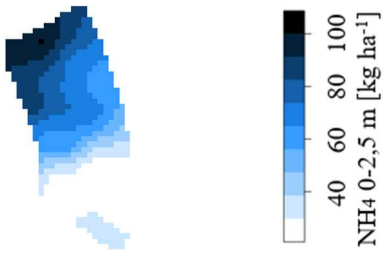


Abb. 3: NH_4-Vorräte in 0-2,5 m Tiefe in kg ha^{-1}

4 Diskussion

Der Schlag Hausfeld ist nahezu zweigeteilt in einen Teil mit höheren (2,9 %) und niedrigeren (2,5 %) Humusgehalten (C_{org}-, N_t-Gehalten). Es zeigten sich deutliche, positive Einflüsse des Humusgehaltes auf das Pflanzenwachstum des Weizenbestandes.

Mit den Tiefbohrungen wurden in den „Niedrigertragszonen“ höhere N_{min}- und NH_4-Vorräte nachgewiesen. Der Zusammenhang zu den NO_3-Vorräten war nur schwach ausgeprägt (Tiefenverlagerungs- und Denitrifikationsprozesse wurden nicht analysiert).

Die Variabilität der Erträge und dementsprechend auch der N-Salden war im Untersuchungsjahr relativ gering. Die gefundenen Beziehungen zwischen Boden-, Pflanzen- und N-Bilanzparametern bestätigen die Ergebnisse früherer Untersuchungen [Mi20]. Die räumliche Variabilität der Nitratausträge innerhalb von einheitlich bewirtschafteten Ackerschlägen war bisher kaum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Methodik zur Identifikation von Schlagarealen mit erhöhtem Verlustpotenzial hat sich bewährt und soll noch auf weiteren heterogenen Schlägen wiederholt werden.

Literaturverzeichnis

[BM12] BMELV: Nitratbericht 2012. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bonn, 2012.

[Ma19] Maidl, F-X; Spicker, A.; Weng, J.; Hülsbergen, K-J: Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten. In: Andreas Meyer-Aurich, Markus Gandorfer, Norbert Barta, Andreas Gronauer, Jochen Kantelhardt und Helga Floto (Hg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich? : Referate der 39. GIL-Jahrestagung 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V (GI-Edition: […], Proceedings, Volume 287), S. 131–134, 2019.

[Ma63] Matheron, Georges: Principles of geostatistics. In: *Economic Geology* (58), S. 1246–1266, 1963.

[Mi20] Mittermayer, M.; Gilg, A.; Maidl, F-X; Hülsbergen, K-J: Erfassung der räumlichen Variabilität von Boden- und Pflanzenparametern: Grundlage für die teilflächenspezifische N-Bilanzierung. In: Andreas Meyer-Aurich, Markus Gandorfer, Heinz Bernhardt, Franz Xaver Maidl, Georg Fröhlich, Helga Floto und Bonn Bonn Gesellschaft für Informatik e.V. (Hg.): GI Edition Proceedings Band 299 Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. 40. GIL-Jahrestagung 17.-18. Februar 2020 Campus Weihenstephan, Freising, Bd. 299. Bonn: Köllen (GI-Edition. Proceedings, 299), S. 181–186, 2020.

Development and field evaluation of a multichannel LoRa sensor for IoT monitoring in berry orchards

Redmond R. Shamshiri [1] and Cornelia Weltzien[1]

Abstract: Evaluation of long-range wireless transceivers with respect to their power consumption, network connectivity, and coverage under extreme field conditions is necessary prior to their deployment in large-scale commercial orchards. This paper reports on the development and field performance of an affordable multi-channel wireless data acquisition for IoT monitoring of environmental variations in berry orchards. A connectivity board was custom-designed based on the powerful dual-core 32-bit microcontroller with WiFi antenna and LoRa modulation at 868 MHz. The objective was to verify the possibility of transmitting multiple sensor readings with lower power consumption while increasing the reliability and stability of wireless communication at long distances (over 1.7 km). Collected data from the wireless sensor was compared and found to be consistent with measurements of a data logger installed in the same locations. The presented paper highlights the advantages of LoRa sensors for digital agriculture and the experience in real-time monitoring of environmental parameters in berry orchards.

Keywords: wireless sensors, IoT monitoring, digital agriculture, LoRa gateway, datalogger

1 Introduction

Digital agriculture offers a better yield and quality for crop production. Wireless sensing technology and the Internet-of-Things (IoT) solution reduces data collection errors, improves the accuracy of remote monitoring, and more importantly evaluation of the microenvironment through dynamic assessment. To that end, sensing technology allows the best quality of growth environment with the capability of yield prediction. The trend of environmental monitoring in modern farming is towards shifting from offline systems to wireless and cloud-based data collection architecture. Various remote systems, either by means of prototype or commercial, are being investigated for their functionalities and limitations in high-density orchards. Examples include field server-based and distributed field router systems for real-time monitoring and processing [Vi20, Re20]. A remarkable advantage of these platforms is the power management capability that allows the system to continuously operate in large coverage areas where connection stability and power sources are a concern [Sh20]. The main justifications for the deployment of IoT infrastructure in agriculture can be summarized as (i) to provide real-time monitoring of the variations in the fields, (ii) to feed data to cloud-based decision support systems, and

[1] Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim, Germany, rshamshiri@atb-potsdam.de, https://orcid.org/0000-0002-5775-9654, CWeltzien@atb-potsdam.de

(iii) to send instant responses to the wireless actuators in agricultural robotic applications [Sh18]. It is expected that this process embraces the uncertainties, especially in the remote areas, and consequently contributes to a higher yield with lesser inputs. However, in most studies, raw data are first collected via wireless sensor network-based systems and are processed afterwards [YYC20, SSK19]. A drawback of this approach is that because the collected data is not processed in real-time, they cannot immediately determine the temporal and spatial variations in the environmental parameters, as well as their deviation from optimal conditions. An effective IoT-based solution should incorporate the use of wireless sensors and mobile applications for displaying, processing, and analyzing data from remote locations using cloud services which together provide new insights and recommendations for better decision-making [SHJ19]. The presented paper introduces the architecture of an affordable multichannel wireless sensor node (WSN) with LoRa modulation at 868 MHz that was custom-designed for real-time monitoring of variations in the microclimate, light condition, soil temperature, soil moisture, and leaf wetness inside berry orchards. Performance evaluation of the WSN was carried out by different means, including comparing the collected data with a data logger that was installed in the same location.

2 Architecture and communication protocols

The wireless communication and the architecture of data transmission from sensors nodes to the end-users are demonstrated in Figure 1, showing the collection of data inside the field, transmission of data to an edge node (gateway) via LoRa 868 MHz, and data transfer to cloud storage via the available WiFi connection in the farm office. Figure 1 also shows a total of four layers, including the farm layer (with sensor nodes), the backend layer, the wrapper later, and the frontend layer integrated in a way that end users can access data from their phone or desktop applications for real-time monitoring of the sensor measurements. The farm layer has the role of (i) provider, in which wireless sensor nodes in the farm collect data and transmit to a gateway device that has access to the internet using WiFi protocol, or convert the data packet to JSON format before sending the data to the backend layer using HTTPS protocol, (ii) client, in which each wireless node sends requests to the backend and receive responses in JSON format via HTTP protocol. The backend layer consists of a middle layer between the backend server and the farm layer. A middle device or server in the backend layer that uses WiFi and REST API providers first receives data from the farm layer and then transfers the packets to the backend layer. Received data are pre-processed, analyzed, and can be categorized using queries, crop models, and artificial intelligence algorithms, and are then saved in the database using controllers that have been implemented in the C# frameworks. The wrapper layer includes the cloud storage in which processed data from the backend are sent to IoT servers and are saved. This gives the user the advantage of having a secure backup of the collected data. The provider receives data from the backend layer and for further real-time assessment of the field conditions. The input of

this layer is the transferred data which are collected every 5 or 10 minutes by the field layer (sensor nodes in the farm). The frontend layer, also called the presentation layer, provides data visualization by means of real-time plots, control buttons, and indicators on mobile apps, webpages, or other platforms.

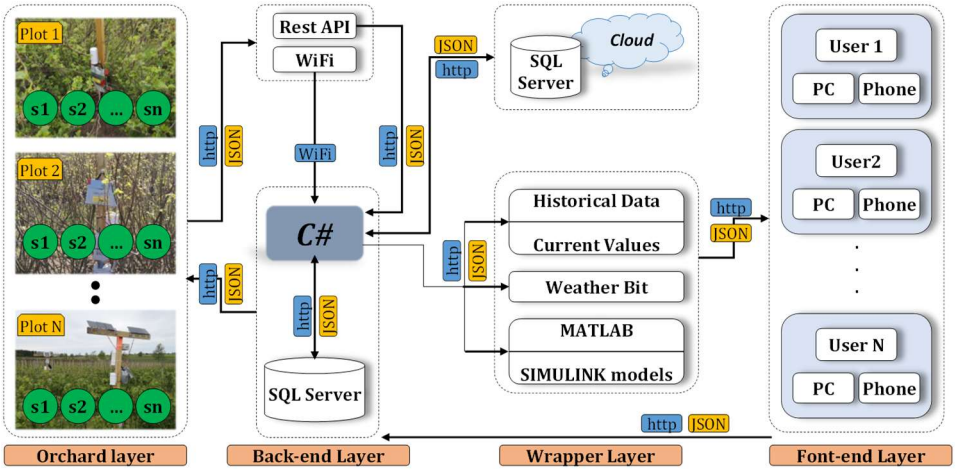


Fig. 1: Schematic view of the data collection and real-time monitoring

3 Data collection setup

The data collection was carried out based on the setup shown in Figure 2 at a commercial berry orchard namely Weggun (Bauernhof Weggun GbR, Germany) located in 53°19'24.9"N 13°33'41.0"E. Different models of 3.8V LiPo batteries and solar panels, as well as different sensor probes with different wire lengths were tested in order to compare and find the best configuration available. The accuracy and reliability of the sensors were verified in several official calibration phases at the Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (Potsdam, Germany). The wireless sensor board utilized a 32-bit microprocessor integrated with the hybrid ADP-WSN/LoRa connectivity board, and an external solar-charged battery module shown in Figure 2. Wireless communication with LoRaWAN gateway was realized via a LoRa Dual-Core 240MHZ CP2102 technology (868 MHz) capable of covering 2~10 km distance in rural areas. The LoRaWAN gateway consisted of three main components, including a concentrator board that was connected to an antenna, a Raspberry Pi Zero onboard computer that made possible all the connections between the concentrator and the LoRaWAN backend, and C++ codes that was custom-written to drive all the process. The gateway used the available WiFi network inside the farm office. All devices had waterproof IP68 cases, with GX16 aviation plug connectors. The plug-and-sense probes utilized DS1820 for soil temperature, BlueDot BME280 + TSL2591 for microclimate and light, ADP-LWS2020 for leaf wetness, and SKU capacitive sensor for soil moisture.

A hybrid multi-channel data logger shown in Figure 3 was installed in the same location for collecting ground truth data and storing it on a SD card. Finally, data from the WSN that were stored on the cloud-server were compared with the data that were stored in the SD card.

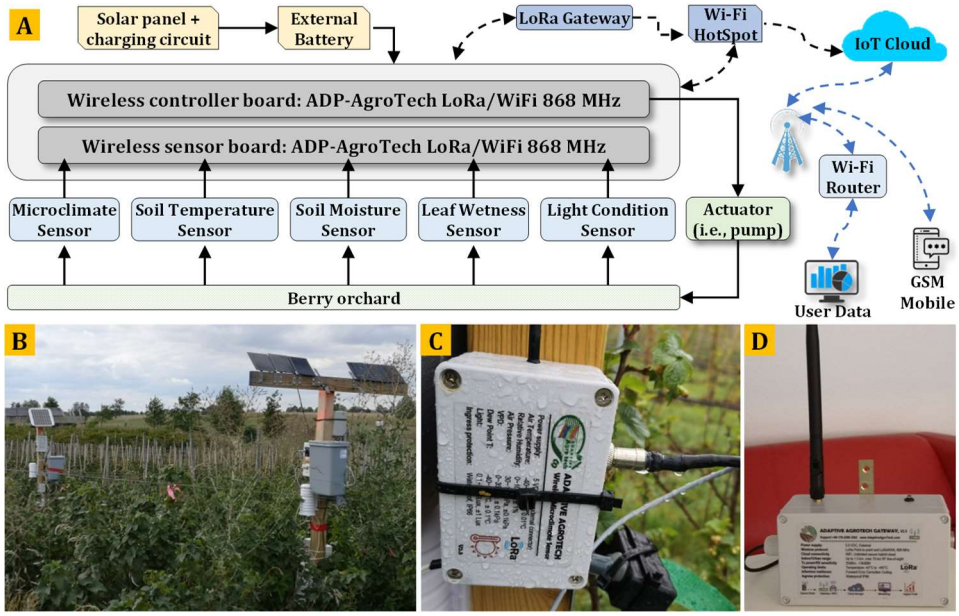


Fig. 2: Data collection setup showing (A) schematic view, (B) sensor locations and stands, (C) LoRaWAN wireless sensor nod, and (D) LoRaWAN gateway

Fig. 3: The hybrid data logger with modular solar charged external battery and plug-and-sense probes used for validation of the wireless sensor

4 Results and conclusion

Sample results showing the performance of the WSN and the hybrid data logger collected every 10 minutes for 30 days in August 2020 have been plotted in Figure 4. For the purpose of this paper we have only provided plots of air temperature, soil temperature, and soil moisture, which are considered more important for farmers. It can be seen that except for the few minor interruptions shown in Figure 4.(A), the deployed WSN sensor has provided smooth and accurate air and soil temperature data collection, showing a consistent pattern with the plots of the data logger readings (Figure 4.(B)). In addition, plot of the soil moisture from the WSN shown in Figure 4.C is consistent with that of the data logger in Figure 4.D. Our preliminary results from other sensors deployed in the field revealed a similar performance in terms of data transfer, interruptions, and connectivity failures. It should be noted that signal strength of the wireless transmission can be affected significantly in high-density orchards, especially when fields are surrounded by tall trees.

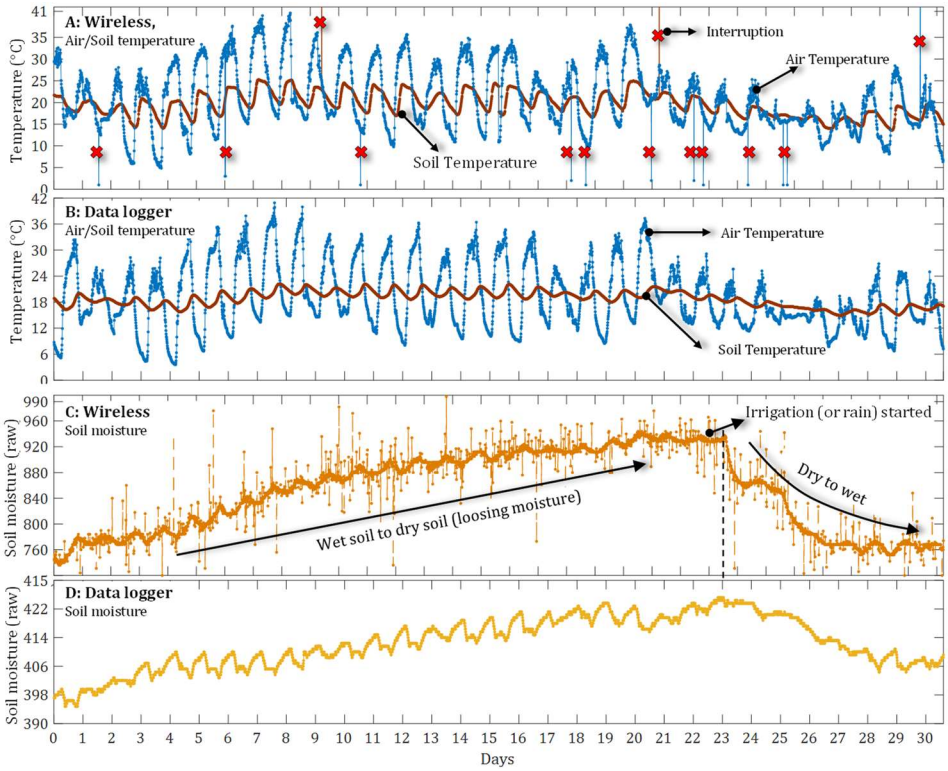


Fig. 4: Comparing the performance of the wireless sensor node with a data logger

It can be concluded that developing a robust and affordable WSN for field conditions should take into account the correct selection and combination of the battery and

charging units, the electronic housing box, connectors and plugs, data wire and cables, wireless antenna, and the modularity and compatibility of the package components. The introduced WSN can be placed anywhere in the orchard and overcome cable wiring difficulties for the sensors and the LAN connection. Additionally, it is flexible in data sharing and can be upgraded with user experience. However, the major disadvantage of wireless sensor nodes is the repeated loss of connection even in mesh applications. The water in the high amount of biomass of the plants damps the radio signals and avoids communication distances over long ranges. This can be solved by using different techniques (that sometimes involve a huge amount of effort), including antennas with cable for higher positions, higher mesh density, multiple gateway nodes, and higher output power. In general, it is a good practice to store all measurement data using devices that benefits from local memory. Therefore, the asynchronous readout is enabled for the user, and the data is not missed which an efficient practice for IoT is monitoring in large-scale commercial berry production.

References

[Vi20] Villa-Henriksen, A., Edwards, G. T., Pesonen, L. A., Green, O., & Sørensen, C. A. G.: Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential. Biosystems Engineering, 191, 60-84, 2020.

[Re20] Rezvani, S. M. E., Abyaneh, H. Z., Shamshiri, R. R., Balasundram, S. K., Dworak, V., Goodarzi, M., ... & Mahns, B.: IoT-Based Sensor Data Fusion for Determining Optimality Degrees of Microclimate Parameters in Commercial Greenhouse Production of Tomato. Sensors, 20(22), 6474, 2020.

[Sh20] Shamshiri, R. R., Bojic, I., van Henten, E., Balasundram, S. K., Dworak, V., Sultan, M., & Weltzien, C.: Model-based evaluation of greenhouse microclimate using IoT-Sensor data fusion for energy efficient crop production. Journal of Cleaner Production, 263, 121303, 2020.

[Sh18] R Shamshiri, R., Weltzien, C., Hameed, I.A., J Yule, I., E Grift, T., Balasundram, S.K., Pitonakova, L., Ahmad, D. and Chowdhary, G.: Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. Int J Agric & Biol Eng. 11(4): 1–14, 2018.

[YYC20] Yiyan, C., Ye, L., & Cunjin, L. Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. Journal of Cleaner Production, 268, 122071, 2020.

[SSK19] Sinha, A., Shrivastava, G., & Kumar, P. Architecting user-centric internet of things for smart agriculture. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 23, 88-102, 2019.

[SHJ19] Sharma, H., Haque, A., & Jaffery, Z. A. Maximization of wireless sensor network lifetime using solar energy harvesting for smart agriculture monitoring. Ad Hoc Networks, 94, 101966, 2019.

Feldroboter aus Sicht der Gesellschaft – Auswertung eines Discrete Choice Experiments

Olivia Spykman[1], Agnes Emberger-Klein[2], Andreas Gabriel[1] und Markus Gandorfer[1]

Abstract: Im Rahmen einer deutschlandweiten Online-Umfrage (n = 2.012) wurde ein Discrete Choice Experiment zu digitalen Technologien in der Unkrautregulierung durchgeführt. Das Testdesign beinhaltet unterschiedliche Methoden der Unkrautregulierung (konventionelle Herbizidapplikation, Spot-Spraying und mechanische Unkrautregulierung), Traktortypen (konventionelle Traktoren, autonome Traktoren und Schwarmroboter) sowie Preisstufen des Endproduktes Mehl. Das Attribut der Unkrautregulierungsmethode zeigte eine höhere Wichtigkeit als der Endproduktpreis und der Traktortypus. Die Teilnutzen der einzelnen Merkmalsausprägungen werden anhand zweier hypothesengestützter Modelle mit Bezug zu persönlichen Eigenschaften bzw. zur Einstellung gegenüber dem Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft bewertet. Dadurch ist es möglich, Personengruppen zu identifizieren, die digitalen Technologien zur Unkrautregulierung besonders positiv gegenüber eingestellt sind.

Keywords: Agrarrobotik, Auswahlexperiment, Digitale Technologien, Online-Umfrage

1 Einleitung

Die moderne Landwirtschaft stellt in vielfacher Hinsicht ein gesellschaftliches Spannungsfeld dar. Beispielsweise findet der Einsatz von Herbiziden zur Unkrautkrautregulierung in bestimmten Teilen der Gesellschaft wenig Zuspruch, was durch den wachsenden Marktanteil ökologisch produzierter Lebensmittel unterstrichen wird. Gleichzeitig stellen mechanische Verfahren zur Unkrautregulierung aufgrund des hohen Arbeitszeitbedarfs eine deutlich kostenintensivere Alternative dar. In diesem Kontext bieten digitale Technologien wie Spot-Spraying oder autonomes Hacken eine Möglichkeit, sowohl den Herbizideinsatz als auch den Arbeitsaufwand zu reduzieren. Gleichwohl ist bekannt, dass die Einführung neuer Technologien in der Landwirtschaft zu gesellschaftlichen Kontroversen führen kann, verdeutlicht durch das Beispiel Gentechnologie, die meist erst ex post identifiziert und analysiert wurden [GF12]. Um zukünftig negative gesellschaftliche Reaktionen zu vermeiden, ist es von Bedeutung, die

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Arbeitsgruppe Digital Farming, Kleeberg 14, 94099 Ruhstorf an der Rott
olivia.spykman@lfl.bayern.de; https://orcid.org/0000-0002-8650-9283
andreas.gabriel@lfl.bayern.de, https://orcid.org/0000-0001-5736-1593
markus.gandorfer@lfl.bayern.de; https://orcid.org/0000-0002-0624-153X
[2] Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Professur Marketing und Management Nachwachsender Rohstoffe, Petersgasse 18, 94315 Straubing; agnes.emberger-klein@hswt.de

Bevölkerung früh als relevante Interessensgruppe einzubinden [RC18]. Die autonome Agrartechnik repräsentiert eine Technologie mit Konfliktrisiko, denn im landwirtschaftlichen Kontext ist die Meinung der Deutschen zu Robotik als ambivalent einzustufen [IN12]. Jedoch wächst der Markt für Feldroboter kontinuierlich [TH19]. Daher ist es von besonderer Relevanz, die Frage der Akzeptanz von autonomen Maschinen im landwirtschaftlichen Kontext frühzeitig zu klären.

2 Methode und Vorgehensweise

Im Rahmen einer deutschlandweiten Befragung der Bevölkerung (n = 2.012) im Juli 2018 wurden drei Auswahl-Experimente zum Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft durchgeführt. Durch eine Vorquotierung der Gesamtstichprobe wurde eine repräsentative Darstellung der deutschen Bevölkerung hinsichtlich Geschlecht, Alter, Bildungsabschluss und Wohnortgröße gewährleistet [PG20], welche sich auch in den Unterstichproben der Experimente widerspiegelt. In diesem Beitrag wird speziell auf das Auswahl-Experiment „Unkrautregulierung“ eingegangen, an dem etwa ein Drittel der Befragten teilnahm (n = 675).

In das Design des Experiments wurden drei Attribute mit jeweils drei Ausprägungen einbezogen. Für das Attribut Unkrautregulierung wurde unterschieden zwischen konventioneller Herbizidapplikation, Spot-Spraying und mechanischer Unkrautregulierung. Der dafür eingesetzte Traktortypus wurde in die Ausprägungen konventioneller Traktor, autonomer Traktor und kleine Schwarmroboter unterteilt. Für das Preisattribut wurde der fiktive Preis für ein mögliches Endprodukt (ein Kilogramm Mehl im Handel) in die Preissteigerungsstufen keine, moderat und stark aufgegliedert. Den Teilnehmern des Experiments wurden in neun Durchgängen jeweils drei zufällig zusammengestellte Kombinationen der Attributausprägungen sowie die Option „keines der drei“ zur Wahl gestellt. Die Auswertung des Experiments erfolgte mittels Hierarchical Bayes-Schätzung und der Software Lighthouse Studio 9.5.3 (Sawtooth Software, USA). Als Kovariaten wurden in zwei Modellen personenbezogene Merkmale der Befragten bzw. deren Einstellungen zu digitalen Technologien einbezogen. Die personenbezogenen Merkmale flossen binär in das Modell ein. Die Einstellungsstatements (Skala von 1 = „Stimme überhaupt nicht zu“ bis 5 = „Stimme voll zu“) gingen mittelwertzentriert in die Schätzung ein. Die Ergebnisse werden in Form von Koeffizienten (Theta-Gewichte) für die Kovariaten dargestellt.

Zur Auswertung der beiden Modelle wurde ein hypothesenbasiertes Verfahren gewählt. Da die gesellschaftliche Akzeptanz autonomer Technologien in der Landwirtschaft bisher kaum erforscht wurde, wurden die Hypothesen aus Erkenntnissen verwandter Forschungsgebiete abgeleitet. Das personenbezogene Modell prüft den Einfluss von Alter, Geschlecht, Bildungsniveau, bereits vorhandener Berufserfahrung in der Landwirtschaft sowie der Zustimmung zu der Aussage, dass deutsche Landwirte die Umwelt schützen (UMWELT), und einer generell positiven Meinung zur deutschen

Landwirtschaft (EINSTELLUNG). Das zweite Modell enthält Variablen, welche die Zustimmung oder Ablehnung zu einzelnen Statements über den Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft messen. Diese thematisieren die Angst vor modernen landwirtschaftlichen Maschinen (ANGST), die grundsätzliche Aufgeschlossenheit gegenüber moderner Technik (TECHNIK) und die Einschätzung, inwieweit digitale Technologien zur Entlastung des Landwirtes (ENTLAST) oder zur Verringerung der Distanz zwischen Landwirt und Verbraucher (DISTANZ) beitragen. Zudem wurden Einschätzungen zur eigenen Präferenz für Bio-Produkte (BIO) und zur Bedeutung des Erhaltens der Umwelt für kommende Generationen (ERHALT) in das Modell aufgenommen. Im Anschluss an die Modellierung wurden besonders positiv und besonders kritisch eingestellte Bevölkerungsgruppen identifiziert.

3 Ergebnisse

Ein Vergleich der Wichtigkeiten der drei Attribute Unkrautregulierung, Traktortypus und Preis zeigt, dass die Befragten dem Merkmal zur Methode der Unkrautregulierung die höchste Wichtigkeit (46 %) zuschreiben. Es folgen der Preis des Endproduktes (32 %) und der Traktortypus (22 %). Diese Reihenfolge betont die Relevanz der Unkrautregulierungsmethode für die Befragten in der Gesamtbewertung.

3.1 Auswertung des personenbezogenen Modells

Die Konstante im personenbezogenen Modell (Tab. 1) zeigt die Teilnutzenwerte für die neun Attributausprägungen, wenn die Kovariaten gleich null sind, also die Einstellungsvariablen dem Mittelwert entsprechen bzw. die sozio-demographischen Variablen den „höheren“ Wert annehmen (z. B. älter als 40 Jahre). So sind bei dem Merkmal Unkrautregulierung signifikant negative Koeffizienten für die konventionelle, flächendeckende Herbizidapplikation sowie das Spot-Spraying, aber ein signifikant positiver Koeffizient für die mechanische Unkrautregulierung zu verzeichnen. Beim Attribut Traktortypus finden sich signifikante Koeffizienten für die Ausprägungen konventionelle Traktoren und Schwarmroboter, wobei nur dem konventionellen Traktor ein positiver Teilnutzen nachzuweisen ist und dieser demnach sowohl kleinen Schwarmrobotern als auch autonomen Traktoren vorgezogen wird.

Die Einbindung der personenbezogenen Merkmale in das Modell zeigt, dass Alter und Geschlecht der Befragten die Teilnutzenwerte einiger Ausprägungen signifikant beeinflussen. So sind bei jüngeren Befragten Preissteigerungen eher toleriert und männliche Befragungsteilnehmer ziehen einen höheren Nutzen aus dem Einsatz autonomer Traktoren. Ein höheres Bildungsniveau der Befragten zeigt positive Effekte bei der Applikationstechnik (Spot-Spraying) und dem Traktortypus (Schwarmroboter).

Merkmal/ Ausprägung		Konstante	Alter[1]	Geschlecht[2]	Bildung[3]	Erfahrung[4]	Umwelt[5]	Positiv[5]
Unkraut	Konventionell[H]	-1,569*	0,070	0,125	-0,388*	0,850*	0,608*	-0,011
	Spot-Spraying[H]	-0,251*	0,074	0,160	0,356*	0,204	0,121	0,095
	Mechanisch	1,820*	-0,145	-0,285	0,032	-1,054*	-0,729*	-0,085
Traktortyp	Konventionell	0,370*	0,121	-0,412*	-0,269*	0,043	0,072	-0,097
	Autonom	-0,021	-0,029	0,226*	0,060	-0,245	-0,028	-0,065
	Schwarmroboter	-0,350*	-0,093	0,185	0,210*	0,201	-0,043	0,162*
Preisanstieg	Keiner	0,564*	-0,266*	0,465*	0,228	-0,120	-0,027	-0,013
	Moderat	0,351*	0,021	-0,075	0,024	-0,196	0,043	-0,021
	Stark	-0,915*	0,246	-0,390*	-0,252	0,316	-0,017	0,034
NONE		-0,467	-0,808*	-0,129	-0,742*	-0,689	-0,952*	-0,374*

Mittlere RLH des Modells: 0,633 | [H]herbizidbasiertes Verfahren | [1]1 = <40 Jahre, 2 = >40 Jahre | [2]1 = männlich, 2 = weiblich | [3]1 = Abitur oder höher, 2 = kein Abitur | [4]1 = ja, 2 = nein | [5]1 = stimme überhaupt nicht zu, 2= stimme eher nicht zu, 3 = bin unentschlossen, 4 = stimme zu, 5= stimme voll zu | * signifikant auf 90 % Konfidenzniveau, 2-seitiger Test

Tab. 1: Koeffizienten des personenbezogenen Modells

Im Kontrast dazu liegt der Teilnutzen von konventioneller Herbizidapplikation bei Befragten mit einer vorliegenden Berufserfahrung in der Landwirtschaft höher als bei jenen ohne einschlägige Erfahrung. Je deutlicher die Zustimmung zur Aussage „Deutsche Landwirte schützen unsere Umwelt“, desto geringer ist die Ablehnung konventioneller, flächendeckender Herbizidapplikation und desto geringer ist der Teilnutzen der mechanischen Unkrautregulierung. Mit steigender Zustimmung zur Aussage „Ich bin der Landwirtschaft in Deutschland ggü. grundsätzlich positiv eingestellt“ erhöht sich der Teilnutzenwert beim Einsatz von kleinen Schwarmrobotern.

3.2 Auswertung des technologiebezogenen Modells

Die mittleren Koeffizienten der einzelnen Attributausprägungen für die Konstante im technologiebezogenen Modell weisen die gleichen Effekte wie im vorangegangenen Modell auf (Tab. 2). Es zeigt sich, dass mit steigender Angst der Befragten vor modernen landwirtschaftlichen Maschinen die Ablehnung konventioneller Herbizidapplikationstechnik und der Teilnutzen der mechanischen Unkrautregulierung sinken. Außerdem erhöht sich mit steigender Angst der Teilnutzenwert für konventionelle Traktoren sowie die Ablehnung von Schwarmrobotern. Der Einfluss einer generellen Aufgeschlossenheit gegenüber moderner Technik hingegen ist im Hinblick auf alle drei Attribute nur schwer zu interpretieren. Mit steigender Zustimmung zu diesem Statement erhöht sich der Teilnutzen für Spot-Spraying und sinkt der Teilnutzen für mechanische Unkrautregulierung.

Merkmal/ Ausprägung		Konstante	Angst[1]	Technik[1]	Entlast.[1]	Distanz[1]	Bio[1]	Erhalt[1]
Unkraut	Konventionell[H]	-1,589*	0,182*	0,093	-0,093	0,621*	-0,226*	-0,319*
	Spot-Spraying[H]	-0,025	0,057	0,207*	0,258*	-0,220*	0,151*	-0,151*
	Mechanisch	1,564*	-0,239*	-0,300*	-0,164	-0,401*	-0,377*	0,470*
Traktortyp	Konventionell	0,118*	0,154*	-0,115	-0,328*	0,084	-0,066	0,251*
	Autonom	-0,079	-0,106*	-0,011	0,080	-0,057	0,015	-0,140*
	Schwarmroboter	-0,197*	-0,048	0,126	0,249*	-0,026	0,051	-0,111
Preisanstieg	Keiner	0,749*	-0,173*	0,035	-0,081	-0,188*	-0,215*	-0,117
	Moderat	0,314*	-0,087	-0,042	0,115	0,011	-0,023	0,070
	Stark	-1,063*	0,260*	0,007	-0,034	0,177*	0,237*	0,047
NONE		-1,215*	-0,078	-0,453*	-0,933*	-0,399*	0,128	-0,239

Mittlere RLH des Modells: 0,632 | [H]herbizidbasiertes Verfahren | [1]1 = stimme überhaupt nicht zu, 2= stimme eher nicht zu, 3 = bin unentschlossen, 4 = stimme zu, 5= stimme voll zu | *signifikant auf dem 90 % Konfidenzniveau, 2-seitiger Test

Tab. 2: Koeffizienten des technologiebezogenen Modells

Bei steigender Zustimmung, dass digitale Technologien zur Entlastung des Landwirtes beitragen, reduziert sich der Teilnutzenwert konventioneller Traktoren und erhöhen sich die Teilnutzenwerte von Spot-Spraying und Schwarmrobotern signifikant. Mit steigender Zustimmung zur Aussage, dass digitale Technologien die Distanz zwischen Landwirten und Verbrauchern verringern, sinkt die Ablehnung flächendeckender Herbizidapplikation und steigt die der herbizidsparenden bzw. -freien Methoden. Mit steigender Befürwortung von ökologischen Lebensmitteln als auch der Meinung, dass die Landwirte die Umwelt erhalten, steigt der Teilnutzenwert für mechanische Unkrautregulierung und sinkt dieser für Spot-Spraying sowie konventionelle, flächendeckende Herbizidapplikation. Eine steigende Zustimmung zur Wichtigkeit des Erhalts der Umwelt für zukünftige Generationen führt zudem zu steigenden Teilnutzenwerten für konventionelle und größerer Ablehnung autonomer Traktoren.

Die Modellierung erlaubt es, die gewählten Einflussvariablen anhand der resultierenden Koeffizienten in Regressionsgleichungen abzubilden. Der Teilnutzenwert von Spot-Spraying in Modell 2 (Formel 1) erhöht sich mit einer steigenden generellen Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Technologien und steigender Zustimmung, dass digitale Technologien den Landwirt entlasten. Der Teilnutzenwert verringert sich mit steigender Zustimmung, dass digitale Technologien die Distanz zwischen Produzenten und Verbrauchern verringern, mit steigenden Präferenzen für Bioprodukte und für Personen, denen der Erhalt der Umwelt für folgende Generationen wichtig ist.

$$\beta_{\text{Spot-Spraying}} = 0{,}0250 + 0{,}207*\text{Technik} + 0{,}257*\text{Entlast.} - 0{,}220*\text{Distanz} - 0{,}151*\text{Bio} - 0{,}151*\text{Erhalt} \quad (1)$$

Im Vergleich dazu verringern sich der Teilnutzenwert des mechanischen Hackens in Modell 2 (Formel 2) mit erhöhter Angst vor modernen landwirtschaftlichen Maschinen und steigender genereller Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Technologien. Bei Befragten, die eine Verringerung der Distanz zwischen Landwirt und Verbraucher durch digitale Technologien wahrnehmen, bei steigender Präferenz für Bio-Produkte und steigender Wichtigkeit des Erhalts der Umwelt erhöht sich der Teilnutzenwert deutlich im Vergleich zum Mittel der Gesamtstichprobe (Konstante).

$$\beta_{\text{Digitale Hacktechnologie}} = 1{,}564 - 0{,}239*\text{Angst} - 0{,}300*\text{Technik} - 0{,}401*\text{Distanz} + 0{,}377*\text{Bio} + 0{,}470*\text{Erhalt} \quad (2)$$

4 Fazit

Die Ergebnisse beider Schätzmodelle zeigen, dass mechanische Unkrautregulierung den zwei herbizidbasierten Unkrautregulierungsmethoden vorgezogen wird. Dabei präferieren die Befragten die Anwendung durch einen konventionellen Traktor, was in diesem Experiment weniger an der Größendimension des Traktors als an der direkten Eingriffsmöglichkeit durch den Landwirt liegen kann. Signifikante Einflüsse von personenbezogenen Eigenschaften der Befragten sowie deren Einstellung zu bestimmten technologieorientierten Aussagen ermöglichen eine Identifizierung von Verbrauchersegmenten, die positive Teilnutzen beim Einsatz alternativer Unkrautregulierung erkennen. Diese Segmente können gezielt als Multiplikatoren angesprochen werden, wohingegen kritisch eingestellte Verbrauchergruppen besser über die Vorzüge autonomer Unkrautregulierungstechnologien aufgeklärt werden sollten, um die allgemeine Akzeptanz dieser Technologien in der Gesellschaft zu fördern.

Literaturverzeichnis

[GF12] Gupta, N.; Fischer, A.R.H.; Frewer, L.J.: Socio-psychological determinants of public acceptance of technologies – A review. Public Understanding of Science, 21/7, S. 782-795, 2012. DOI: 10.1177/0963662510392485.

[IN12] INSFO: Public attitudes towards robots. Special Eurobarometer 382, 2012.

[PG20] Pfeiffer, J.; Gabriel, A.; Gandorfer, M.: Understanding the public attitudinal acceptance of digital farming technologies – a nationwide survey in Germany. Agriculture and Human Values, 2020. DOI: 10.1007/s10460-020-10145-2

[RC18] Rose, D.C.; Chilvers, J.: Agriculture 4.0 – Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. Frontiers in Sustainable Food Systems, 2/87, 2018. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00087.

[TH19] Treiber M.; Hillerbrand, F.; Bauerdick, J.; Bernhardt, H.: On the current state of agricultural robotics in crop farming chances and risks. 47th Symposium “Actual Tasks on Agricultural Engineering”, S. 27-33, 2019.

Einfluss von schlagformspezifisch geplanten Befahrungsstrategien auf die Wendezeiten in der Bodenbearbeitung

Matthias Stettmer[1], Maximilian Treiber[1], Valentin Heizinger[1] und Heinz Bernhardt[1]

Abstract: Der Einsatz GPS-gestützter Lenksysteme senkt die Arbeitserledigungskosten. Parallelfahrsysteme optimieren den Arbeitsprozess und ermöglichen es den Maschinenführern, verschiedene Fahrmuster einzusetzen. Die Wendezeiten unterschiedlicher Fahrmuster variieren je nach Schlagform stark. Durch reduzierte Wendezeiten mittels Routenplanung, auf Basis verschiedener genutzter Fahrmuster in Abhängigkeit von der Schlagform, könnten Kosten gespart und Maschinen effizienter eingesetzt werden. Daher ist das Ziel dieser Arbeit, zu überprüfen, ob sich durch schlagformspezifisch geplante Befahrungsstrategien die Wendezeiten in der Bodenbearbeitung reduzieren lassen. Zu diesem Zweck wurden Praxisversuche durchgeführt. Dabei wurden die Befahrungen von fünf Feldern vergleichend untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das Routing die Zeit am Vorgewende senkt. Die geplante Variante erreicht gegenüber der Referenzvariante um 20-40 % reduzierte Wendezeiten.

Keywords: Lenksystem, Wendezeit, Routenplanung

1 Einleitung

Viele neue Anforderungen und strukturelle Veränderungen erfordern einen Umbruch in der heutigen Landwirtschaft. Die Effizienzsteigerung durch die Digitalisierung ist derzeit von großer Bedeutung in der Landtechnikbranche. Autonom arbeitende Schlepper oder Trägerfahrzeuge werden nach einer Studie der Kleffmann Group in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) ihre Marktanteile zukünftig deutlich erhöhen [Dö19]. Demnach sollen sich die Marktanteile von autonomen überwachten Schleppern in Westeuropa von aktuell weniger als 10 % auf über 80 % im Jahre 2045 entwickeln. Die Anteile von völlig autonomen Schleppern sollen sich laut der Studie in den meisten Regionen der Welt von aktuell 0 % auf 10-50 % ausdehnen. Trotz dieser deutlichen Zahlen ist zu erkennen, dass der Wandel zu autonomer Landtechnik einem langsamen, aber kontinuierlichen Prozess folgt. Die Einführung autonomer Systeme wird je nach Markt und Region erheblich variieren [Dö19]. Aktuell sind in der praktischen Landwirtschaft vor allem vom Menschen gesteuerte Traktoren mit Assistenzsystemen wie GPS-gestützten Lenksystemen etabliert. Dabei übernimmt das Umdrehen am Vorgewende in aller Regel der Fahrer, welcher auch entscheidet, welche

[1] Technische Universität München, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, Dürnast 4, D-85354 Freising, stettmer@wzw.tum.de, maximilian.treiber@wzw.tum.de, valentin.heizinger@wzw.tum.de, heinz.bernhardt@wzw.tum.de

Spurlinie er als nächstes anfährt. Folglich kommen die Vorteile des Parallelfahrsystems hauptsächlich im Arbeitsprozess zur Geltung, beim Wendeprozess hingegen ergibt sich keine systemgestützte Hilfe zur Reduktion der Wendezeit. Die Nutzung eines Lenksystems ermöglicht es jedoch, verschiedene Muster („Beet“, „auf und ab“, „jede 2te“ etc.) zu fahren und so diverse Befahrungsstrategien zu nutzen. [St17], [Ok07] und [En04] stellten in ihren Untersuchungen in Abhängigkeit von der Art der Befahrung und der Schlagform erhebliche Unterschiede bei Wendezeiten fest. [Sa15] und [BV08] belegen deutlich differenzierte Wendeweglängen durch verschiedene Fahrstrategien. Die unterschiedlichen Fahrmuster eignen sich je nach Winkel gut oder schlecht [Be18]. Daher ergibt sich als Zielstellung für diese Arbeit, zu eruieren, inwieweit Wendezeiten beim Einsatz von Lenksystemen durch ein geplantes Routing, basierend auf der abwechselnden Nutzung verschiedener Fahrmuster, in Abhängigkeit von der Schlagform reduziert werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerhebung

Die Datengrundlage für diese Untersuchung liefern GPS-Positionsdaten aus der Bodenbearbeitung. Dazu wurden beim Stoppelsturz mittels Scheibenegge und bei der Grundbodenbearbeitung mittels Grubber die Koordinaten (latitude, longitude) des Maschinengespanns mit einer Frequenz von einem Hz aufgezeichnet. Verwendet wurden dafür Datenlogger der Firma Qstarz International Co. Ltd, da diese die Kriterien für die Datenaufzeichnung zur Auswertung von landwirtschaftlichen Positionsdaten nach Forschungen von [He14] am besten erfüllen. Diese Datenlogger wurden bei der Tätigkeit am Schlepper befestigt, sodass sich im Nachgang aus den aufgezeichneten Koordinaten die Befahrung rekonstruieren und analysieren lässt.

2.2 Versuchsaufbau

Basis dieser Untersuchung sind Daten von fünf Schlägen eines Ackerbaubetriebes in Mecklenburg-Vorpommern. Der Versuch wurde so aufgebaut, dass alle fünf Felder jeweils zweimal mit derselben Technik in derselben Richtung bearbeitet werden. Bei der einen Überfahrt wurden die Fahrmuster anhand der Schlagform geplant, während bei der anderen Überfahrt durchgängig ein Fahrmuster verwendet wurde. Bei der Variante mit Routenführung wurden die Fahrmuster anhand des Winkels zwischen Bearbeitungsrichtung und Vorgewende geplant. Die Analyse der Winkel erfolgte mit der Geoinformationssystemsoftware QGIS. Dabei wurde eine Unterteilung in vier Winkel-Bereiche (0,00 – 22,5 Grad; 22,5 – 45,0 Grad; 45,0 – 67,5 Grad und 67,5 – 90,0 Grad) vorgenommen. Anhand dieser Unterteilung entstanden einzelne Teilabschnitte, denen jeweils das Fahrmuster mit den günstigsten Wendezeiten zugewiesen wurde. Als

Datengrundlage dafür dienen Untersuchungen von [St17], [Sa15] und [BV08]. Grundsätzlich beinhaltet die geplante Variante vier gängige Fahrmuster. Bei der Referenzbefahrung wurde ebenfalls eines dieser vier Fahrmuster genutzt und durchgängig auf der ganzen Fläche angewendet. Die Auswahl erfolgte betriebsüblich durch die jeweiligen Maschinenführer, sodass die Fläche in der Referenzvariante genauso befahren wird wie sie sonst standardmäßig auf dem Betrieb bearbeitet wird. Nachfolgend sind die vier verwendeten Fahrmuster in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

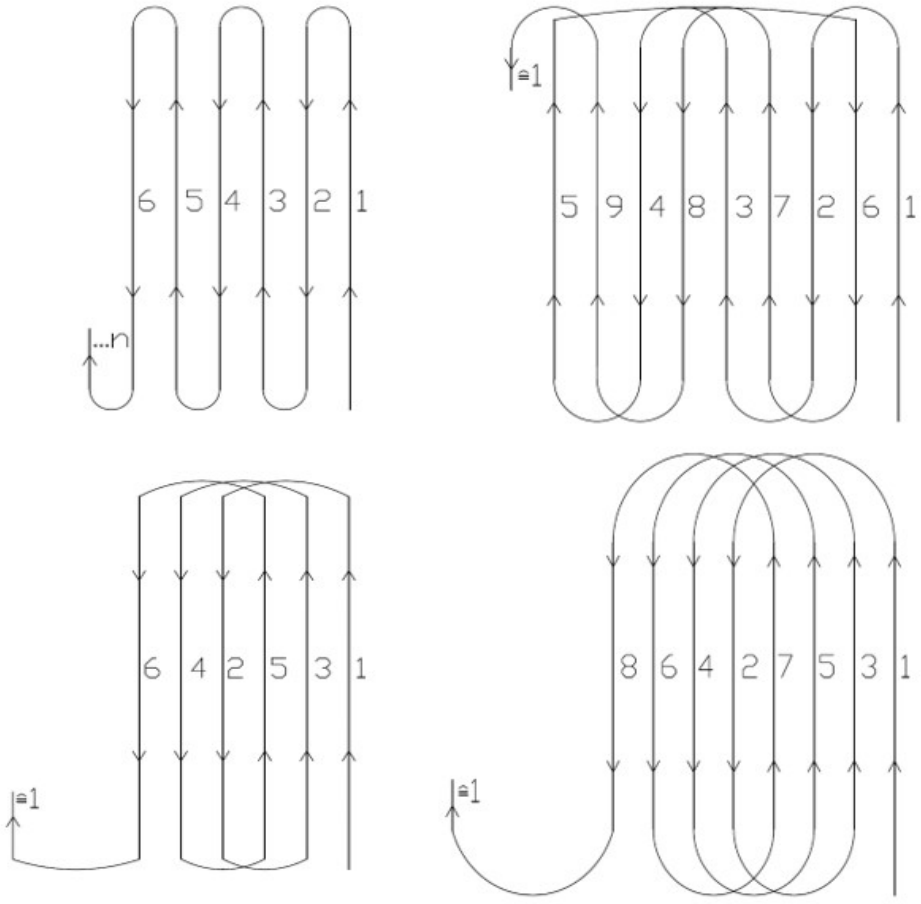


Abb.1: Darstellung der vier verwendeten Fahrmuster

Die schematische Darstellung zeigt jeweils einen Zyklus der Fahrmuster. Die Zahlen zeigen, in welcher Reihenfolge die Spurlinien abgefahren werden. Die Muster sind wie folgt angeordnet: „auf und ab“ (links oben), „jede 2te“ (rechts oben), „2er-Beet“ (links unten) und „3er-Beet“ (rechts unten).

2.3 Datenanalyse

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit einem algorithmischen Analysesystem von [He14]. Dieses System ist für die Analyse von landwirtschaftlichen Prozesszeiten entwickelt und eignet sich daher zur Analyse von Wendezeiten sehr gut. Die Anwendung agiert als Analyse-Tool auf Basis der Software MATLAB. Mit diesem Programm können die Positionsdaten differenziert und in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Es handelt sich dabei um Punktdaten. So konnten bei der Datenanalyse die Zeitsummen pro Wendevorgang ermittelt werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Analyse der Wendezeiten ergab ein deutliches Einsparpotenzial der geplanten Variante gegenüber der Referenzvariante auf allen fünf Testschlägen. Der Vorgang wurde auf den fünf Versuchsflächen voneinander unabhängig wiederholt. Durch das Routing lässt sich die Wendezeit um rund 20 -40 % reduzieren. Tabelle 1 zeigt die Wendezeiten der „Routing"-Variante und der entsprechenden Referenzvariante der fünf Felder.

	Wendezeit „Referenz-befahrung" [min]	Wendezeit „Routing" [min]	Wendezeit-ersparnis [min]	Wendezeit-ersparnis [%]
Schlag 1	$18{,}83^{A}$	$12{,}58^{B}$	6,25	33,19
Schlag 2	$13{,}40^{A}$	$10{,}77^{B}$	2,63	19,63
Schlag 3	$29{,}65^{A}$	$19{,}55^{B}$	10,10	34,06
Schlag 4	$17{,}43^{A}$	$13{,}76^{A}$	3,67	21,05
Schlag 5	$38{,}78^{A}$	$22{,}48^{B}$	16,30	42,03

Tab. 1: Wendezeiten beider Überfahrten auf den fünf Testschlägen

Zur statistischen Absicherung der Unterschiede kam eine einfaktorielle ANOVA zur Anwendung. Dabei wurden die Wendezeiten der Variante „Routing" mit der Variante „Referenzbefahrung" jeder Wiederholung paarweise verrechnet. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0{,}05$ gewählt. Dabei zeigen die Schläge 1, 2, 3 und 5 nachweislich signifikante Unterschiede. Schlag 4 weist ebenfalls einen Unterschied auf, jedoch lässt sich dieser bei einem P-Wert von 0,07 statistisch nicht nachweisen. Die Tatsache, dass bei allen fünf Vergleichen die geplante Variante bessere Werte liefert, untermauert die eindeutigen positiven Auswirkungen der Routenplanung deutlich. Durchschnittlich lassen sich so rund 30 % der Wendezeit einsparen.

4 Fazit und Ausblick

Es zeigt sich, dass die Vorteile von Lenksystemen durch weitere Planungsschritte noch deutlich verbessert werden können. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die

Ergebnisse großes Potenzial bei der Routenplanung offenbaren. Diese Ergebnisse stellen wichtige Grundlagen für die Entwicklung des autonomen Fahrens dar und sollten daher auch weiter erforscht werden. Bereits frühere Untersuchungen zeigen, dass besonders der Einfluss von Schlagform und Fahrmuster eine deutliche Wirkung auf die Prozesszeiten hat [Be18]. Werden diese Erkenntnisse zur Routenplanung verwendet, können diese Auswirkungen positiv genutzt und dadurch Wendezeiten reduziert werden. Zukünftige Untersuchungen sollten auch den Einfluss der Arbeitsgeräte berücksichtigen, da speziell die Arbeitsbreite ein wichtiger Faktor bei der Auswahl der Fahrmuster ist.

Literaturverzeichnis

[Be18] Bernhardt, H.; Bartenschlager, J.; Stettmer, M.; Mederle, M.: Turning structures and driving strategies of different fields. In ASABE Annual International Meeting (p. 1), American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2018.

[BV08] Bochtis, D.; Vougioukas, S.: Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. Biosystems Engineering 101 (1), S. 1-12, 2008.

[Dö19] Dörr, J.; Fairclough, B.; Henningsen, J.; Jahic, J.; Kersting, S.; Mennig, P.; Peper, C.; Scholten-Buschhoff, F.: Scouting the Autonomous Agricultural Machinery Market. IESE-Report Nr. 041.19/E, S. 40-43, 2019.

[En04] Engelhardt, H.: Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Gießen, 2004.

[He14] Heizinger, V.: Algorithmische Analyse von Prozessketten in der Agrarlogistik. Freising, 2014.

[Ok07] Oksanen, T.: Path Planning Algorithms for Agricultural Field Machines. Helsinki, 2007.

[Sa15] Sabelhaus, D.: Fahrspur- und Routenplanung für teilautonome, GNSS-gestützte Landmaschinen. Bonn, 2015.

[St17] Stettmer, M.: Analyse von Wendezeiten unterschiedlicher Befahrungsstrategien in der Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung verschiedener Schlagformen. Freising, 2017.

Von der Forschung in die Praxis: das KI-basierte optisch-selektive mechanische Beikrautregulierungssystem MWLP-Weeder in verschiedenen Trägersystemen im Feldeinsatz

Wolfram Strothmann[1], Christian Scholz[2], Burawich Pamornnak[2] und Arno Ruckelshausen[2]

Abstract: Mechanische Beikrautregulierung gewinnt in der landwirtschaftlichen Praxis eine zunehmende Bedeutung. Während sich hierbei für den Zwischenreihenbereich („inter-row“) kommerzielle Lösungen, insb. mit kamerabasierter Reihenerkennung, mittlerweile durchgesetzt haben, und auch für den Bereich zwischen den Pflanzen in der Reihe („intrarow“) erste Systeme kommerziell verfügbar sind, ist mechanisches Hacken im Bereich nahe der Pflanze („close-to-crop“) nach wie vor eine Herausforderung. Gerade für Pflanzen in BBCH-Stadien 10 bis 12 sind hier noch keine optisch angesteuerten Systeme kommerziell verfügbar. Durch den MWLP-Weeder kann diese Lücke geschlossen werden. Der MWLP-Weeder zeichnet sich durch eine Multi-Stempelaktorik in Kombination mit optischer Sensorik und intelligenter Pflanzenerkennung aus, welche eine flächige Bearbeitung von Beikräutern speziell auch sehr nahe an den Nutzpflanzen ermöglicht. Aufbauend auf Forschungsergebnissen wurde das System in 2020 aufgebaut und im Experimentierfeld AgroNordWest sowie im praktischen Ökolandbau – sowohl im Roboterbetrieb als auch als Anbaugerät für einen Traktor – getestet.

Keywords: Mechanische Beikrautregulierung, Pflanzenerkennung und -klassifizierung

1 Einleitung

Mechanische Beikrautregulierung hat in der landwirtschaftlichen Praxis eine stetig zunehmende Bedeutung. In Kombination mit weiteren Ansätzen des integrierten Pflanzenschutzes im Rahmen des betrieblichen Pflanzenbaumanagements erlaubt mechanische Beikrautregulierung eine Reduktion des Pflanzenschutzmittelaufwandes im konventionellen Anbau. Im ökologischen Landbau wird der Anbau von Kulturen mit langsamer Jugendentwicklung durch mechanische Beikrautregulierung erst ermöglicht.

Für die mechanische Beikrautregulierung verfügbare Verfahren sind anhand ihres Zielbereiches klassifizierbar:

[1] W. Strothmann Techn. Entwicklung und Dienstleistung, Ernst-Sievers-Str. 28, 49078 Osnabrück, w.strothmann@gmx.net
[2] HS Osnabrück, Fakultät IuI, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück, c.scholz@hs-osnabrueck.de, b.pamornnak@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

- Vollfeldbearbeitung („whole-field“), bzw. flächiges Striegeln;
- Zwischenreihenbereich („inter-row“);
- zwischen den Pflanzen in der Reihe („intrarow“) und
- nahe der Nutzpflanze („close-to-crop“) [Ma20].

Für die Vollfeldbearbeitung und den Zwischenreihenbereich sind mittlerweile eine Vielzahl von Techniken verfügbar. Hierbei wird insbesondere durch kamerabasierte Reihenführung der Abstand zu den Nutzpflanzenreihen zunehmend verkleinert. Weiterhin kann durch Kombination mit Wurf-/Häufelwerkzeugen auch eine Fernwirkung auf den Bereich der Pflanzenreihe erzielt werden, wenn die Nutzpflanzen ausreichend groß gewachsen sind, um diesen Maßnahmen standzuhalten [Ma20].

Weiterhin existieren auch erste Techniken für den „intrarow“-Bereich, welche kameragesteuert innerhalb der Reihen zwischen den Nutzpflanzen hacken können. Zu nennen sind hier beispielsweise der Garford RoboCrop, der Robovator der Fa. F. Poulsen Engineering sowie der IC Weeder der Fa. Steketee. Bedingt durch ihren mechanischen Aufbau erreichen jedoch auch diese den Bereich „close-to-crop“ kaum und sind für Nutzpflanzen im Keimblatt- oder ersten Laubblattstadium nur bedingt geeignet [Ma20].

2 Aufbau des MWLP-Weeders

Der MWLP-Weeder baut auf verschiedene Forschungsergebnisse der Hochschule Osnabrück auf. Innerhalb des Projektes RemoteFarming.1 wurde an Techniken zur mechanischen Beikrautregulierung in Möhren geforscht. Hierbei wurde unter anderem die Wirksamkeit stempelartiger Aktoren für die mechanische Beikrautregulierung nachgewiesen [La14]. Der MWLP-Weeder nutzt den dort entwickelten Multi-Wavelength Laser Line Profile Sensor für die Erkennung der Pflanzen. Dieser Sensor erweitert das bekannte Lichtschnittverfahren für hochpräzise 3D-Datenerfassung, indem nicht nur ein Linienlaser, sondern mehrere Linienlaser bei verschiedenen Wellenlängen eingesetzt werden. Auf diese Weise extrahiert der Sensor sowohl 3D-Daten als auch spektrale Signaturen der Pflanzen [St17].

Die Klassifizierung zwischen Nutzpflanzen, Beikräutern (und Boden) findet mit Hilfe neuronaler Netze statt, wobei das System mit Hilfe von In-Field-Labeling vor Ort innerhalb eines Feldes an die Besonderheiten der Wuchssituation des jeweiligen Feldes schnell und einfach angepasst werden kann. Weitere Details zu Sensorik und Klassifizierung der MWLP-Daten für die Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen und Beikräutern sind [St17] zu entnehmen.

Ergebnis der Klassifizierung der Pflanzendaten, welche mittels MWLP-Systems aufgenommen wurden, ist zunächst eine pixelbasierte Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen, Beikräutern und Boden. Dieses Zwischenergebnis wird in ein Raster

überführt, welches einer Karte mit Mikrozellen entspricht, die kodiert, ob eine bestimmte Zelle auf dem Feld zu bearbeiten ist oder nicht. Ersteres ist mindestens dann der Fall, wenn sich an der entsprechenden Stelle des Feldes ein Beikraut befindet und mindestens dann nicht, wenn sich an der Stelle des Feldes eine Nutzpflanze befindet. Die Zellengröße ist hierbei konfigurierbar. Typischerweise liegt diese Größe bei ca. 1 cm x 1 cm.

Um eine Bearbeitung des Feldes in einer vergleichbar hohen Auflösung zu ermöglichen, ist eine entsprechend geringe Werkzeuggröße erforderlich. Dieses wird durch eine Kombination des MWLP-Systems mit einer Linearanordnung von pneumatisch angetriebenen Stempeln ermöglicht. Diese werden nach Erkennung und Analyse der Szenerie in Synchronisation mit der Fahrbewegung des Trägerfahrzeuges ausgelöst, wenn die Stelle, die der Sensor vorher gescannt hat, erreicht wird. Abbildung 1 zeigt den Aufbau mit Kombination von MWLP-Sensor und Stempelaktorik in Schema und Realisierung.

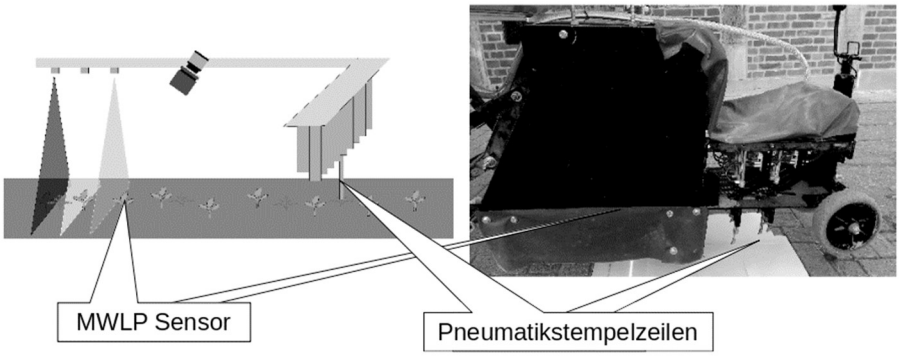


Abb. 1: MWLP-Weeder schematisch und Realisierung

Die Pneumatikstempel sind in Reihe nebeneinander angeordnet. Es besteht auch die Möglichkeit, diese in mehreren Reihen anzuordnen, wobei die hintere Reihe gegenüber der vorderen seitlich versetzt ist. Dies dient der Erhöhung der theoretischen Bearbeitungsauflösung. Es wurden Aufbauten mit 11, 15 und 19 Stempeln pro Reihe realisiert, wobei die laterale Bearbeitungsauflösung je nach Aufbau zwischen 0,9 cm und 1,8 cm lag. Die Bearbeitungsauflösung in Fahrtrichtung ist von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Die Dauer eines einzelnen Stempelhubs liegt bei ca. 32 msec. Bei 1 m/s Fahrgeschwindigkeit liegt die Bearbeitungsauflösung in Fahrrichtung somit bei 3,13 cm, 0,2 m/s Fahrgeschwindigkeit entspricht 0,63 cm Auflösung. Typische Arbeitsgeschwindigkeiten mit dem MWLP-Weeder liegen zwischen 0,5 km/h (0,14 m/s) und 4 km/h (1,1 m/s), je nach gewünschter Bearbeitungsgenauigkeit.

Die Pneumatikstempel werden über 5/2-Wegeventile ansteuert, die über einen Mikrocontroller geschaltet werden, entsprechend der Ergebnisse des vernetzten Rechners, welche die Klassifizierung rechnet. Die Pneumatikstempel sind für den dauerhaften Feldeinsatz mit einer Verstärkung der Kolbenstange versehen. Weiterhin sind die Einheiten aus Pneumatikstempel, Kolbenstangenführung und Werkzeug einzeln mit einer

Steinsicherung ausgestattet, um bei Hindernissen im Boden entsprechend ausweichen zu können.

An die Stempelspitzen wurden als Werkzeugspitzen Mikrohackschare montiert. Diese erlauben verschiedene Bearbeitungsstrategien mit dem MWLP-Weeder:

1. Stechender Stempelimpuls von oben auf das Zentrum der Beikrautpflanze.
2. Durchfahren der Beikrautpflanze; Hackschar wird vor der Beikrautpflanze abgelassen und nach Durchfahren wieder ausgehoben.
3. Flächige Bearbeitung des Feldes unter Auslassen der Nutzpflanzen.

3 Feldeinsatz in verschiedenen Trägersystemen

Der so aufgebaute MWLP-Weeder wurde in verschiedenen Szenarien getestet. Zum einen wurde eine mehrreihige, Traktor-gezogene Beikrautregulierungsmaschine aufgebaut. Diese wurde als 6-reihiger Aufbau in ökologisch angebauten Zuckerrüben und als 4-reihiger Aufbau in Biomais auf einem Praxisbetrieb in Mecklenburg-Vorpommern getestet. Hierbei wurde die Maschine neben den in den Pflanzreihen arbeitenden MWLP-Weeder-Elementen mit Hackscharen für den „inter-row“ Bereich versehen. Dies ermöglicht eine kombinierte Bearbeitung der Bereiche „inter-row“, „intrarow“ und „close-to-crop“ in einem Arbeitsgang. Zum anderen wurde der MWLP-Weeder als Modul für den Feldroboter BoniRob in einem Maisbestand des Experimentierfeldes AgroNordwest getestet. Beide Einsatzszenarien sind in Abbildung 2 gezeigt.

Abb. 2: MWLP-Weeder in verschiedenen Einsatzszenarien

Insgesamt konnte in beiden Einsatzszenarien die Funktionalität des MWLP-Weeders gezeigt werden. Abbildung 3 zeigt ein beispielhaftes Ergebnis der Bearbeitung. Hierbei wird das Einsatzergebnis des MWLP-Weeders im Traktor-gezogenen Aufbau im Mais

gezeigt. Zum Vergleich wurde bei der vorherigen Bearbeitung das auf die im Bild obere Reihe gerichtete MWLP-Weeder-Element deaktiviert. Das auf die im Bild untere Reihe gerichtete Element war aktiviert. Es wird deutlich, dass hier im Bereich „inter-row“ sowie im unteren Bildbereich flächig inkl. „intrarow“ und „close-to-crop“ eine Bearbeitung der Beikräuter erfolgt ist, während die Beikräuter im oberen Reihenbereich aufgrund des deaktivierten Elementes weiterhin vorhanden sind.

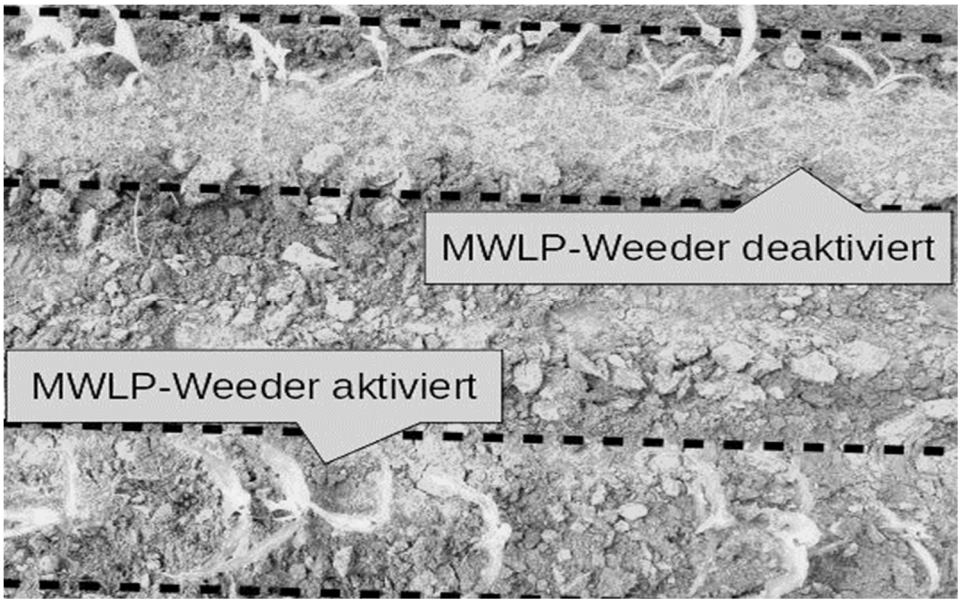


Abb. 3: Beispielhaftes Arbeitsergebnis des MWLP-Weeder in Mais

Während der Feldtests wurden eine Reihe von Problemen für den Dauereinsatz des MWLP-Weeders erkannt. So führte die Methode der flächigen Bearbeitung des Feldes unter Auslassen der Nutzpflanzen aufgrund der hohen Auflösung der Stempel und dem damit verbundenen geringen Stempelabstand regelmäßig zu großem Erdaufbau vor den Mikrohackscharen. Diesem Problem konnte durch eine Anpassung der Ansteuerung begegnet werden, in dem die Stempel regelmäßig nach einem bestimmten maximalen Verweilweg in Arbeitsposition, wieder für einen kurzen Augenblick ausgehoben werden, auch wenn sich an dieser Stelle des Feldes keine Nutzpflanze befindet. Auf diese Weise fließt die Erde regelmäßig ab, wobei die Aushebedauer so kurz ist, dass ggf. an der Stelle des Aushebens befindliche Beikräuter dennoch verschüttet werden.

4 Diskussion und Ausblick

Neben der Erkenntnis, dass die Funktionalität in beiden Trägersystemen gezeigt werden konnte, haben die Tests noch eine Reihe von Voraussetzungen gezeigt, welche für eine

weitere Skalierung des MWLP-Weeders in Richtung einer kommerziell verfügbaren Beikrautregulierungslösung erfüllt sein müssen. So spielt die Feldvorbereitung eines feinkrümeligen Saatbetts eine wichtige Rolle. Unzureichend eingearbeitete und wenig zerkleinerte Organik führt ebenfalls zu Verstopfungen der Stempelaktorik.

Weiterhin ist eine hochgenaue Lenkung (basierend auf Sensorinput, nicht RTK) für ein optimales Hackergebnis, insb. am Hang, erforderlich, ebenso wie eine gute Tiefenführung bei wechselnden Bodenarten. In diesen Bereichen sind in der kommenden Saison ergänzende Automatiken geplant. Des Weiteren sollen in der kommenden Saison direkte Vergleiche mit alternativen Hacktechnologien („inter-row"/„intrarow") durchgeführt werden, um zu prüfen, wie sich die im Vergleich zu Alternativtechnologien deutlich erhöhte Aktorzahl pro Reihe und die damit verbundene Verbesserung der Bearbeitungsauflösung im Feld agronomisch niederschlägt.

Mit den Verbesserungen im Bereich der Lenkungs- und Tiefenführungsautomatik werden in der kommenden Saison weitere Robustheitstests durchgeführt, um den Feldeinsatz zu erweitern und den Transfer der Forschungsergebnisse in Richtung einer kommerziellen, optisch angesteuerten Weedinglösung voranzutreiben, welche die Bearbeitung der Bereiche „inter-row", „intrarow" und „close-to-crop" in einem System abbildet.

Danksagung

Die Arbeiten fanden im Umfeld des Forschungsprojektes „Experimentierfeld Agro-Nordwest" statt, welches durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gefördert wird.

Weiterer Dank gilt dem Biobetrieb Agrarhof Brüel e. G. für die Möglichkeit, die Technologien auf den Flächen des Betriebes im großflächigen Praxisanbau testen zu können.

Literaturverzeichnis

[La14] Langsenkamp, F.; Sellmann, F.; Kohlbrecher, M.; Kielhorn, A.; Strothmann, W.; Michaels, A.; Ruckelshausen, A.; Trautz, D.: Tube Stamp for mechanical intra-row individual Plant Weed Control. In: 18th World Congress of CIGR, CIGR2014, Beijing, China, Sept.16-19, 2014, paper book.

[Ma20] Machleb, J.; Peteinatos, G.; Kollenda, B.; Andújar, D.; Gerhards, R.: Sensor-based mechanical weed control: Present state and prospects In: Computers and Electronics in Agriculture, Volume 176, 2020, S. 105638, ISSN 0168-1699, https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105638.

[St17] Strothmann, W.; Ruckelshausen, A.; Hertzberg, J.; Scholz, C.; Langsenkamp, F.: Plant classification with In-Field-Labeling for crop/weed discrimination using spectral features and 3D surface features from a multi-wavelength laser line profile system. In: Computers and Electronics in Agriculture, Volume 134, March 2017, S. 79-93, ISSN 0168-1699, http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.003.

Localisation and navigation of a robot platform using laser scanner and Adaptive Monte Carlo Localisation (AMCL) for an indoor horticultural application

Evaluation of the positioning accuracy of a robot platform in an indoor test environment

Georg Supper [1], Christian Aschauer[1], Andreas Gronauer[1] and Norbert Barta[1]

Abstract: Automation and robotics in horticulture have the potential to replace manual work in repetitive activities, thereby achieving economic advantages. Reliable, sensor-based localisation and navigation in indoor environments would allow easy integration of robotic solutions into existing installations. The aim of this article is to evaluate this localisation accuracy of a robot developed for indoor applications in horticulture. For this purpose, 10 target positions are approached with a robot platform in a test environment and the robot end position and orientation are recorded by a motion capture system (MCS). The result shows that the target positions were reached with an average distance of 45.1 mm and an average angular deviation of 0.4°.

Keywords: Robotics, ROS, automation, horticulture, digitalisation

1 Introduction

In a survey conducted in the mid-1970s, horticulturalists attributed about 25 % of the production costs of plants to labour [AB92]. Ne91 estimated the contribution of labour to total production costs at 34.81 %, including 5.58 % depreciation and 2.50 % interest. Labour is also considered a key factor in the development and maintenance of the greenhouse sector. In the South of Spain, the labour costs for greenhouse production of tomatoes, lettuce, pepper, melon, watermelon, pumpkin, cucumber and bean account for 36 to 40 % of total costs. [Mo13] Automation and robotics in horticulture has the potential to replace manual work in repetitive activities. This results in economic advantages by saving on labour costs. [AFH19]

Many robots designed for outdoor applications use global navigation satellite systems (GNSS) for outdoor localisation. Examples are the field robots BoniRob [Gö14] and

[1] University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Institute of Agricultural Engineering, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, georg.supper@boku.ac.at https://orcid.org/0000-0002-3405-3384, christian.aschauer@boku.ac.at, andreas.gronauer@boku.ac.at, norbert.barta@boku.ac.at

Ladybird [Un15]. Each driving unit has two mechanically decoupled axes, to rotate the wheel orientation and to drive.

For indoor applications of robots in the horticultural sector, the carrier vehicle's navigation is infrastructure-based, using linear guidance between plants to achieve the positions for various activities with a robot arm, such as harvesting tomatoes in [Qi14]. In the industrial sector, there are commercial solutions such as the logistics robot omniRob-System (KUKA AG, Augsburg, Germany), which already realises navigation with a laser scanner and a simultaneous localisation and mapping (SLAM) algorithm. The omnidirectional drive is equipped with Mecanum wheels. [Rö12]

In order to fully automate horticulture using robotics, it is necessary to ensure reliable localisation and navigation when used in an indoor environment, in addition to the actual main task performed by a robot. An indoor navigation without artificial marks allows more flexibility and the degree of autonomy of a robot is rising. [Ro16] The aim of this article is to explore the potential using a laser scanner for localisation in the indoor horticultural sector. For that, an in-house developed robot with a simple differential drive is evaluated according to its position accuracy at 10 target positions in an indoor testbench.

2 Materials and methods

2.1 Robot

The robot platform consists of a welded steel construction and is driven by 2 electric motors and steered by a differential drive system (see Fig. 1 left). As manipulator for working tools the robot arm UR10 (Universal Robots, Denmark) is used on the robot platform with a reach of 1300 mm. For indoor localisation, a 3D laser scanner (LIDAR) VLP16 (Velodyne, San Jose, USA), an ”inertial measurement unit” (IMU) of type IMU Brick 2.0 (TinkerForge, Schloß Holte-Stukenbrock, Germany) and incremental encoders of type RVP510 (ifm electronic, Essen, Germany) on the drive axes are used. The software concept includes the robot operating system (ROS) with its programs AMCL and navigationstack [SAB19].

In comparison to other localization approaches, AMCL provides a global robot localization, is easy to implement and has less computational demand, but a very small sample has a detrimental effect on position estimation. [Fo99]

2.2 Experimental setup

The indoor test was carried out in the garage of the “Maschinenprüfstation” of the experimental farm in Groß Enzersdorf. For this purpose, a delimited test room with 10 target positions was created. Each of the 10 target positions was approached by the robot

10 times from the same starting area (see Fig. 1 right). The target positions are approached from the right edge of the map. A map of the test environment was generated using the ROS package ”gmapping”.

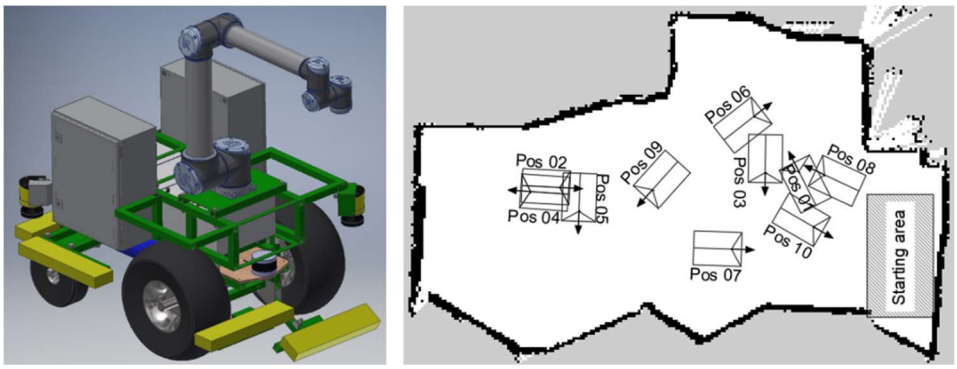


Fig. 1: 3D model of the mobile robot platform (left) and map of the test environment with start area, 10 target positions and orientations (right)

2.3 Measuring systems and evaluation

Eight Vantage V5 (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK) cameras were used as MCS in combination with the Vicon Tracker software to determine the robot position in the test room (see Fig. 2). They detect reflector balls which were glued to the robot platform. The robot position is tracked by the software both locally and in its orientation. The statistical evaluation was done with MatLab (MathWorks, Natick, USA).

Fig. 2: Vicon Vantage V5 (left), test environment and measurement system (right)

3 Results and discussion

The positioning and orientation of the robot in front of a working position should be such that it can be processed by the robot arm. Due to the mounting position, work tasks can be performed with the arm within a radius of 1000 mm. In order not to exceed 10 % of the effective reach of the robot arm, the robot must reach the working position with an accuracy of +/- 50 mm. To avoid collision of the robot with a work platform, the deviation from its target orientation must not exceed +/- 5°.

Fig. 3 shows the amount of the distance between the robot end positions and the respective target point as a box plot. The requirement of +/- 50 mm positioning accuracy around a target point is not fully achieved at any position. In position 01, more than 75 % of the values are within this requirement. In positions 03-05 and 07-09, 50 % of the values are within 50 mm around the target point. In positions 02, 06 and 10, the medians are above the limit value. In position 02, the largest deviation of approx. 230 mm can be seen. This position also shows the greatest dispersion. Considered over all test runs, more than 50 % of the values are within the 50 mm. The 75 % quantile is above this with a distance of approx. 70 mm.

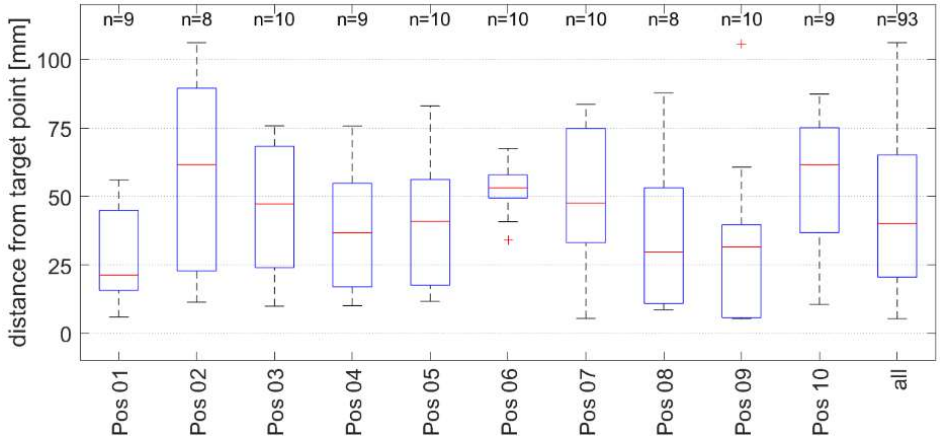


Fig. 3: Amount of the distance of the robot end position to the target points

The results in Figure 4 show that the requirement of +/- 5 ° is met except for position 02 and 08. In position 08, an outlier increases the difference of the orientation to the target orientation. In position 02, the box plot shows that the orientation has a large dispersion of approx. 34°. In order to reach position 02, the robot platform performs a 180° rotation at the target point, which the algorithm does not perform adequately. This behaviour of the robot in position 02 is shown by the increased deviations in positioning and orientation compared to the other positions.

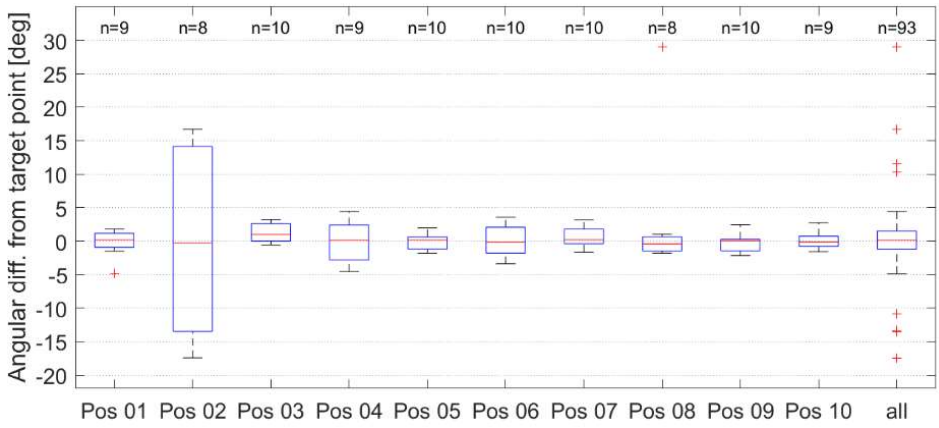


Fig. 4: Difference to the target orientation of the respective target point and all measurements. n<10 caused by triggering the safety module

In comparison with the test results in [Rö12], the mean distance over all positions at 45.1 mm in this work is higher by a factor of 9 and the mean orientation error at 0.4° by a factor of 2.5. The omnidirectional drive with Mecanum wheels plays an important role here in comparison with pneumatic wheels with a differential drive since this enables fine positioning without kinematic constraints.

For practical use at working positions of the robot platform with a robot arm in an indoor application, these results mean that less precise positioning than required is possible. This means that a reduction in the usable reach of the robot arm must be accepted.

4 Conclusion and Outlook

The positioning test in Groß Enzersdorf is a first approach with a simple robot platform based on a differential drive in an indoor environment. The tests show that the requirements for positioning and orientation accuracy can only be partially achieved. If all test runs are considered, more than 50 % of the values are within the 50 mm. The 75 % quantile is above this with a distance of about 70 mm. The 5° requirement of the orientation accuracy is achieved up to position 02.

In practical use of the robot platform, this means to make curtailment in the usable range of the robot arm, to use an additional system for fine positioning, or to extend the algorithms for path planning when approaching the positions by the kinematic constraints.

Further research is necessary to determine the agricultural and economic parameters of the robot platform in a practical usage.

5 Acknowledgement

This work was funded by the Vienna Science and Technology Fund (WWTF) within the University Infrastructure Program.

References

[AFH19] Adegbola, Y. U.; Fisher, P. R.; Hodges, A. W.: Economic evaluation of transplant robots for plant cuttings. Scientia Horticulturae, 246, 237-243, 2019.

[AB92] Aldrich, R. A.; Bartok, J. W.: Greenhouse Engineering, The Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 1992.

[Fo99] Fox, D.; Burgard, W.; Dellaert, F.; Thrun, S.: Monte carlo localization: Efficient position estimation for mobile robots. AAAI/IAAI, 1999(343-349), 2-2, 1999.

[Gö14] Göttinger, M.; Scholz, C.; Moeller, K.; Ruckelshausen, A.; Strothmann, W.; Hinck, S.; Grzonka, S.: GNSS-based navigation for the multipurpose field robot platform BoniRob to measure soil properties, 2014.

[Mo13] Montoya-García, M. E.; Callejón-Ferre, A. J.; Pérez-Alonso, J.; Sanchez-Hermosilla, J.: Assessment of psychosocial risks faced by workers in Almería-type greenhouses, using the Mini Psychosocial Factor method. Applied Ergonomics, 44(2), 303-311, 2013.

[Ne91] Nelson, P. V.: Greenhouse operation and management (No. Ed. 4). Prentice Hall, 1991.

[Ro16] Robotics, S. P. A. R. C.: Robotics 2020 multi-annual roadmap for robotics in Europe. SPARC Robotics, EU-Robotics AISBL, The Hauge, The Netherlands, accessed Feb, 5, 2018, 2016.

[Rö12] Röwekämper, J., Sprunk, C., Tipaldi, G. D., Stachniss, C., Pfaff, P., Burgard, W.: On the position accuracy of mobile robot localization based on particle filters combined with scan matching. In 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 3158-3164), IEEE, 2012.

[SAB19] Supper, G., Aschauer, C., Barta, N.: Robotik, ROS, Automatisierung, Landwirtschaft, Digitalisierung. 39. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen-ein Widerspruch in sich?, 2019.

[Un15] Underwood, J. P., Calleija, M., Taylor, Z., Hung, C., Nieto, J., Fitch, R., Sukkarieh, S.: Real-time target detection and steerable spray for vegetable crops. In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation: Robotics in Agriculture Workshop, Seattle, WA, USA (pp. 26-30), 2015.

[Qi14] Qingchun, F., Wei, C., Jianjun, Z., Xiu, W.: Design of structured-light vision system for tomato harvesting robot. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 7(2), 19-26, 2014.

Digitale börsenbasierte Festpreissysteme: neue Entwicklungen in der EU-Milchwirtschaft

Holger D. Thiele[1] und Jonas Peltner[2]

Abstract: Seit 2017 werden von Molkereien in Europa den Milcherzeugern börsenbasierte Festpreismodelle für Milch angeboten, damit diese eine höhere Planungssicherheit in Zeiten steigender Preisvolatilitäten haben. In dieser Studie werden erstmals die vorhandenen Forschungsansätze zur Kostenermittlung von Festpreismodellen im Bereich der Weizen-, Mais- und Sojamärkte auf den Milchmarkt übertragen und ein AR(1)-Modell geschätzt. Datengrundlage sind die internen Kassapreise sowie Kosten für die Digitalplattform und die Administration des Modells einer Molkerei sowie die täglichen Terminmarktdaten im Zeitraum Januar 2016 bis Dezember 2019. Zusammenfassend lässt sich auf Basis der hier untersuchten Daten und Annahmen festhalten, dass börsenbasierte Festpreise für einen Milcherzeuger zwar Verringerungen des Preisrisikos bedeuten, allerdings über den Betrachtungszeitraum mit mittleren Kosten in Höhe von 0,37 bis 0,40 Ct/kg Milch verbunden sind. Es wurden sogar Zeiträume mit geringen Vorteilen statt Kosten bei Nutzung des Festpreismodells identifiziert. Die Kosten hängen auch vom Zeitpunkt der Absicherung ab, wobei eine Absicherung früher im Jahr eher teurer ist als eine Absicherung in der zweiten Jahreshälfte.

Keywords: Festpreissysteme, Warenterminmarkt, Milchmarkt, Risikomanagement, EEX

1 Einleitung

Angesichts der seit 2007 bestehenden und nach Ende der EU-Milchquote 2015 zugenommenen Preisvolatilitäten auf dem europäischen Milchmarkt werden vielfach von europäischen Milcherzeugern Festpreise für die zukünftig zu liefernde Milch nachgefragt. Seit 2014 haben erste Molkereien in Europa darauf reagiert und feste Milcherzeugerpreise für Teilmengen für die nächsten Monate angeboten. Seit 2017 gibt es auch Festpreise für Milcherzeuger, die von den Molkereien zum Teil über die Warenterminbörse abgesichert werden. Seit 2018 gibt es diese Modelle auch in Deutschland, mittlerweile von vier Molkereien. Mehrere weitere Molkereien planen die Einführung. Drei der bisher eingeführten Modelle sind rein börsenbasierte Festpreismodelle, d.h. die Molkerei bietet dem Milcherzeuger für zukünftige Monate Forwardpreise für begrenzte Mengen an und sichert diesen Forwardpreis auf dem physischen Markt durch Futureskontrakte an der Warenterminbörse ab. Die Abwicklung der Festpreise zwischen Molkerei und Milcherzeuger für zukünftige Liefermonate erfolgt über eine digitale Handelsplattform.

[1] Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, holger.thiele@fh-kiel.de
[2] ife Institut für Ernährungswirtschaft e.V., Fraunhoferstraße 13, 24118 Kiel, jonas.peltner@ife-ev.de

Dort werden die Festpreise von der Molkerei eingestellt und bei Bedarf mit entsprechenden Mengen von den Lieferanten angenommen.

Studien zu Kosten börsenbasierter Festpreise im Agrarbereich wurden bislang in den USA für Weizen, Soja und Mais durchgeführt. Für Weizen ermittelten frühere Studien Kosten im Bereich zwischen \$0,04/bushel und \$0,105/bushel [BCA95, TB00]. Seit 2007 haben sich die Kosten allerdings stark erhöht: Taylor et al. [TTD14] ermittelten, dass zwischen 2007 und 2013 die Kosten von durchschnittlich \$0,09/bushel auf \$0,33/bushel anstiegen. Den starken Anstieg der Kosten führen die Autoren unter anderem auf einen starken Anstieg der Basisvolatilität in den Jahren ab 2008 zurück. Studien zu Kosten der Absicherung von Mais und Soja kommen zu gemischten Ergebnissen. Shi et al. [Sh04] fanden für Mais nur minimale Kosten in Höhe von \$0,01/bushel. Stringer und Sanders [SS06] konnten bei Betrachtung des Zeitraumes von 1975 bis 2004 keine statistisch signifikanten Kosten für Mais und Soja ermitteln, während Mallory et al. [MZI14] ermittelten, dass zwischen 1980 und 2009 eine Absicherung über Festpreise im Schnitt \$0,02/bushel für Mais und \$0,06/bushel für Soja kostete. Den von Taylor et al. [TTD14] beobachteten starken Anstieg der Kosten seit 2008 konnten auch Etienne et al. [EMI17] bei ihrer Betrachtung der Kosten für Festpreise bei Soja zwischen 1977 und 2008 feststellen. Für den Zeitraum von 1997 bis 2007 konnten durchschnittliche Kosten von \$0,04 ermittelt werden. Ab 2007 stiegen die Kosten auf \$0,16/bushel an. Auch hier führen die Autoren den Preisanstieg hauptsächlich auf gestiegene Volatilität an den Märkten zurück.

Bisher fehlen in der internationalen und in der nationalen Forschungsliteratur Studien zu den Kosten dieser Preisbildungsinstrumente am Milchmarkt. Dies liegt vermutlich an der mangelnden Datenverfügbarkeit dieser für den Milchmarkt neuen Instrumente. Ziel dieses Papiers ist es, erstmals die Kosten der börsenbasierten Milchfestpreismodelle unter Einbezug der Kosten für die digitale Lösung abzuschätzen. Dazu werden vorhandene Forschungsansätze zur Kostenermittlung von Festpreismodellen der anderen Agrarmärkte auf den Milchmarkt übertragen. Auf Basis der Daten einer deutschen Molkerei, welche sich mit der Planung zur Umsetzung eines den festen Lieferanten digital anzubietenden börsenbasierten Festpreismodells beschäftigt, werden Festpreise für die vergangenen Jahre konstruiert. Die Lieferanten sind an die Molkerei gebunden, so dass sich die freie Vermarktung als Alternative ausschließt. Anschließend werden rückblickend für diesen Zeitraum die Kosten der Absicherung berechnet. Die Ergebnisse können erste Aufschlüsse darüber liefern, welche Kosten Landwirten entstehen, wenn sie ihren Milchpreis über ein börsenbasiertes Festpreismodell absichern würden.

2 Theoretischer Hintergrund

Zur Berechnung der Kosten börsenbasierter Festpreise wird in dieser Arbeit das Modell von Townsend und Brorsen [TB00] verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass einem Milcherzeuger bei Annahme eines von der Molkerei angebotenen Festpreises Kosten

entstehen. Diese Kosten entsprechen der Differenz des erwarteten Milchpreises bei Lieferung und dem Festpreis für diesen Liefertermin:

$$C(t,t^*) = E_t(S(t^*))-f(t,t^*) \quad (1)$$

wobei $C(t,t^*)$ die Kosten eines zum Zeitpunkt t angenommenen Festpreises mit Lieferung zum Zeitpunkt t^* sind, $E_t(S(t^*))$ den bei Annahme des Festpreises erwarteten Milchpreis zum Lieferzeitpunkt t^* abbildet und $f(t,t^*)$ der zu t angenommene Festpreis für zum Zeitpunkt t^* zu liefernde Milch ist. Bei börsenbasierten Festpreisen lassen sich die Kosten auch als Differenz zweier Basisrisiken darstellen. Dazu werden zwei neue Variablen eingeführt: Der Preis eines dem gehandelten Gutes unterliegenden Futures mit Fälligkeit unmittelbar nach dem Liefertermin. Dieser wird einmal zum Zeitpunkt der Annahme des Festpreises ($F(t,T)$) und einmal bei Lieferung der Ware ($F(t^*,T)$ berücksichtigt. Die Differenz aus dem angenommenen Festpreis und dem Preis des Futures Kontrakt bei Annahme des Festpreises, ist die forward basis $B(t,t^*)$:

$$B(t,t^*) = f(t,t^*)-F(t,T) \quad (2)$$

Analog ist die cash basis die Differenz aus dem zu t^* ausgezahlten Milchpreis und dem Preis des Futures Kontrakt zum Zeitpunkt t^*:

$$b(t^*) = S(t^*)-F(t^*,T) \quad (3)$$

Stellt man die Gleichungen (2) und (3) nach $f(t,t^*)$ und $S(t^*)$ um, lässt sich Gleichung (1) wie folgt darstellen:

$$C(t,t^*) = E_t[b(t^*)+F(t^*,T)-B(t,t^*)-F(t,T)] = E_t[b(t^*)-B(t,t^*)]-E[F(t^*,T)-F(t,T)] \quad (4)$$

Unter der Annahme, dass Futures Preise unverzerrte Schätzer der Kassapreise darstellen, hat der zweite Term in Gleichung (4) den Wert 0. Die Kosten eines Festpreises sind also:

$$C(t,t^*) = E_t[b(t^*)-B(t,t^*)] = E_t[b(t^*)]-B(t,t^*) \quad (5)$$

Die Kosten der Annahme eines Festpreises sind demnach die Differenz aus erwarteter cash basis und forward basis. Da der erste Term in Gleichung (5) nicht direkt beobachtbar ist, lassen sich die Kosten der Absicherung in diesem Modell immer erst ex post berechnen:

$$C(t,t^*) = b(t^*)-B(t,t^*) \quad (6)$$

3 Daten und Methode

Zur Berechnung der Kosten börsenbasierter Festpreise steht ein Datensatz mit täglichen Werten für den Zeitraum von Januar 2016 bis Dezember 2019 zur Verfügung. Im Datensatz enthalten sind die monatlich gezahlten Milchpreise einer Molkerei, täglich angebotene Festpreise für Lieferung in 1-12 Monaten sowie der ife Börsenmilchwert [IFE20]. Wie bereits beschrieben, wird das börsenbasierte Festpreismodell noch nicht von

der Molkerei angeboten, sondern befindet sich noch in der Planungsphase. Der Festpreis wird von der Molkerei basierend auf den Futureskursen der an der European Energy Exchange (EEX) in Leipzig gehandelten Butter und Magermilchkontrakte sowie eines Abzugs, welcher administrative Kosten, wie etwa die Bereitstellung und Instandhaltung der digitalen Plattform, über die Festpreise angenommen werden können, berechnet. Da diese Größen den Autoren vorliegen, konnten die Festpreise rückwirkend für den Untersuchungszeitraum berechnet werden. Der ife Börsenmilchwert wird als Proxy für die in den Gleichungen (3) bis (5) verwendeten Futureskontrakte ($F(t^*,T)$ und $F(t,T)$) verwendet. Der ife Börsenmilchwert ist ein Zukunftswert für die Milch. Er gibt an, welchen Milchwert die Marktteilnehmer an der Milchterminbörse in Leipzig in den zukünftigen Monaten erwarten. Berechnungsbasis sind die Warenterminkontraktpreise für Butter und Magermilchpulver an der EEX.

Wie in früheren Studien zu Kosten von Festpreisen [EMI17, MZI14, TB00], werden auch in dieser Arbeit die Kosten von Festpreisen ($C(t,t^*)$) mittels eines AR(1)-Modells geschätzt. Dazu werden zunächst für jeden Tag des Beobachtungszeitraumes die Kosten der Absicherung ($C(t,t^*)$) wie in Gleichung (6) gezeigt, für Lieferung in 3 Monaten, Lieferung in 6 Monaten und in 9 Monaten berechnet[3]. Die so entstandenen Zeitreihen werden anschließend zur Schätzung des AR(1)-Modells verwendet. Zur Berücksichtigung der Saisonalität wurde zusätzlich eine Dummy-Variable aufgenommen. Da tägliche Festpreise in der Analyse genutzt werden, werden die ersten Differenzen der Kosten in den Modellen verwendet, um eine stationäre Zeitreihe zu erhalten.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Kosten für die Sicherheit fester Preise liegen für Liefertermine in 3 Monaten bei 0,40 Ct/kg Milch, in 6 Monaten bei 0,37 Ct/kg Milch. Über einen Zeitraum von 9 Monaten konnte statt eines Kostennachteils sogar mit -0,25 Ct/kg Milch ein geringer Vorteil (negatives Vorzeichen) bei der Verwendung von Festpreisen festgestellt werden. Positive Werte bedeuten Kosten durch die Festpreise für die Milcherzeuger, da in dieser Studie Kosten als Differenz zwischen der cash basis und der forward basis definiert wurden. Kosten ergeben sich demnach, wenn die cash basis stärker steigt als die forward basis, d.h. wenn die Molkereiauszahlungspreise stärker angestiegen sind als die Futurespreise [EMI17]. Negative Werte bedeuten, dass es neben dem Vorteil eines sicheren Preises einen monetären Vorteil gibt. Für den Landwirt bedeutet dies, dass er durch die Annahme eines Festpreises einen höheren Preis für seine Milch erzielen konnte als bei Verzicht auf eine Absicherung. Wie zu erwarten, ist die Absicherung über Festpreise für einen Landwirt vorrangig mit Kosten verbunden.

[3] In welcher Frequenz eine Molkerei Festpreise anbietet, liegt ganz in ihrem Ermessen. Daher wurde in dieser Arbeit die höchstmögliche Frequenz gewählt, um die Kosten der Absicherung zu schätzen.

Für einen Milcherzeuger, der eine monatliche Milchmenge von 100.000 kg im Rahmen des digitalen börsenbasierten Festpreises der Molkerei absichern wollte[4], würde dies für einen Termin 3 Monate im Voraus im untersuchten Zeitraum durchschnittliche zusätzliche Kosten von 404 Euro bedeuten. Das Annehmen eines Festpreises für Lieferung in 6 Monaten würde diesen Milcherzeuger durchschnittlich 372 Euro kosten. Eine Absicherung 9 Monate vor dem Liefertermin würde im betrachteten Zeitraum sogar einen durchschnittlichen Gewinn von 245 Euro bedeuten. Zur genaueren Betrachtung Kosten börsenbasierter Festpreise sind in Abbildung 1 die geschätzten Kosten der Absicherung für eine Lieferung 3 Monate im Voraus dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass eine Absicherung in der ersten Hälfte eines Jahres für einen Milcherzeuger tendenziell mit Kosten verbunden ist, während eine Absicherung im Zeitraum zwischen Juli und September eines Jahres eher vorteilhaft ist. Auffällig ist außerdem, dass die Kosten stark schwanken. Dies kann durch die in der jüngeren Vergangenheit stark gestiegene Volatilität auf den Milchmärkten erklärt werden [EMI17, TTD14].

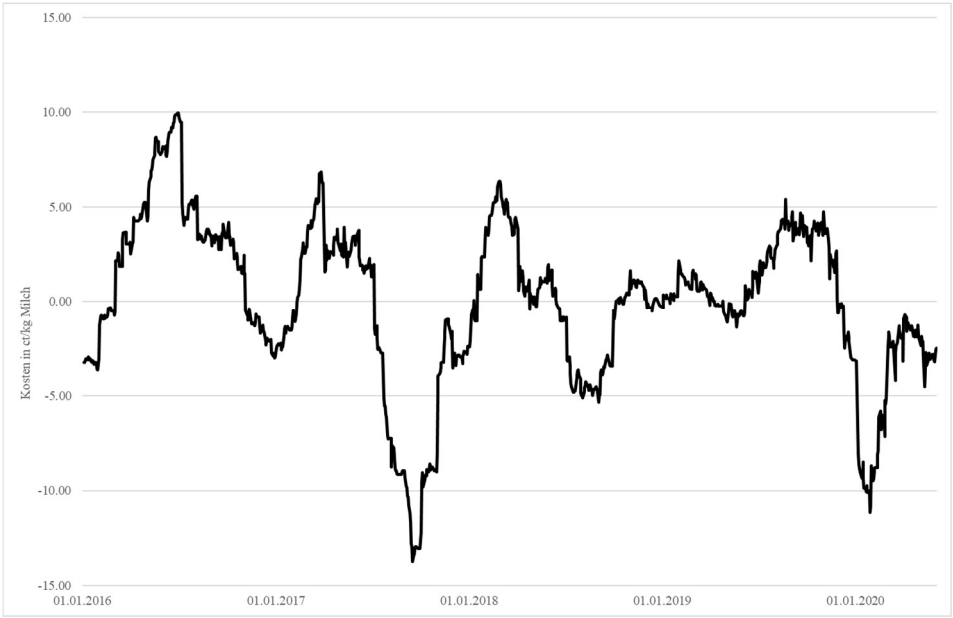


Abb. 1: Geschätzte Kosten börsenbasierter Festpreise Milch für Lieferung 3 Monate im Voraus für den Zeitraum Januar 2016 bis August 2019 (in Ct/kg Milch)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass börsenbasierte Festpreise für einen Milcherzeuger zwar eine Verringerung des Preisrisikos bedeuten, allerdings mit Kosten verbunden sind. Diese Kosten hängen auch vom Zeitpunkt der Absicherung ab, wobei eine Absicherung früher im Jahr eher teurer ist als eine Absicherung in der zweiten Jahreshälfte. Die Kosten können dabei in einzelnen Monaten und Wochen erheblich sein

[4] Dies würde in etwa einem Betrieb mit 200 Kühen, welcher die Hälfte seiner monatlichen Produktion über Festpreise absichern möchte, entsprechen.

und verdeutlichen, dass eine kontinuierliche Inanspruchnahme von börsenbasierten Festpreisen durch die Milcherzeuger nicht zu erwarten ist. Eine Molkerei, die derartige Festpreismodelle anbieten will, könnte dies sowohl in der Festlegung der Frequenz der Festpreisangebote als auch in der Festlegung von Schwellenwerten berücksichtigen.

5 Schlussfolgerungen

In dieser Studie werden erstmalig die vorhandenen Forschungsansätze zur Kostenermittlung von Festpreismodellen anderer Agrarmärkte auf den Milchmarkt übertragen, um die Kosten der neuen börsenbasierten Festpreismodelle in diesem Sektor zu analysieren. Es konnte gezeigt werden, dass eine Absicherung mittels börsenbasierter Festpreise mit Kosten verbunden ist. Diese sind abhängig von der zeitlichen Distanz zwischen Annahme des Festpreises und Lieferung der Ware. Die hier dargestellten Ergebnisse betrachten allerdings nur einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum und eine kontinuierliche Annahme von Festpreisen durch Milchlieferanten. Zukünftige Arbeiten könnten an dieser Stelle ansetzen und die Kosten für einen längeren Zeitraum in der Vergangenheit schätzen und andere Frequenzen berücksichtigen. Außerdem könnte untersucht werden, wie effektiv oder teuer Absicherung über Festpreise im Vergleich zu anderen Absicherungsmethoden wie etwa dem direkten Hedging für Milcherzeuger ist.

Literaturverzeichnis

[BCA95] Brorsen, B.W.; Coombs, J.; Anderson, K.: The cost of forward contracting wheat. Agribusiness 11/4, S. 349-354, 1995.

[EMI17] Etienne, X.L.; Mallory, M.L.; Irwin, S.H.: Estimating the cost of pre-harvest forward contracting corn and soybeans in Illinois before and after 2007. Agribusiness 33/3, S. 358-377, 2017.

[IFE20] IFE Institut für Ernährungswirtschaft (Hrsg.): ife Börsenmilchwert. Versch. Jgg. Internes Datenmaterial und Aufbereitung ife Institut Kiel, (unveröffentlicht) 2020.

[MZI14] Mallory, M.L.; Zhao, W.; Irwin, S.H.: The Cost of Post-Harvest Forward Contracting in Corn and Soybeans. Agribusiness, 31/1, S. 47-62, 2014.

[TTD14] Taylor, M.; Tonsor, G.; Dhuyvetter, K.: Structural Change in Forward Contracting Costs for Kansas Wheat. Journal of Agricultural and Resource Economics 39/2, S. 217-229, 2014.

[Sh04] Shi, W.; Irwin, S.H.; Good, D.L., Hagedorn, L.A.: The Cost of Forward Contracting. Vortrag gehalten auf der Jahrestagung der American Agricultural Economics Association (AAEA), Denver, Colorado, 1. August – 4. August 2004.

[SS06] Stringer, C.; Sanders, D.R.: Forward Contracting Costs for Illinois Corn and Soybeans: Implications for Producer Pricing Strategies. Journal of the ASFMRA, S. 49-56, 2006.

[TB00] Townsend, J.P.; Brorsen, B.W.: Cost of Forward Contracting Hard Red Winter Wheat. Journal of Agricultural and Applied Economics 32/1, S. 89-94, 2000.

Einflüsse auf den Adoptionserfolg von integrierten Herdenmanagementprogrammen auf rinderhaltenden Betrieben

Larissa Verfürth[1], Caroline Firmenich[1], Miriam Kramer[1], Laura Schmitz[1], Nicole Tücking[1], Marcus Mergenthaler[1] und Marc Boelhauve[1]

Abstract: In der Milchviehhaltung etablieren sich PC- und Smartphone-Anwendungen für das Herdenmanagement zunehmend im Alltag zukunftsorientierter Betriebe, um den wachsenden Dokumentationsaufwand zu erleichtern. Damit eine Smartphone-App als neue Technologie erfolgreich im Betrieb implementiert werden kann, muss deren potentieller Nutzen erkennbar sein und sich anhand eines kontinuierlichen Einsatzes immer wieder zeigen. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Digitale Kuh 3.0“ wird anhand der Determinanten des Technologieakzeptanzmodells untersucht, wie sich mittels der unterschiedlichen Einstellungen von Experienced und Basic Usern der Adoptionserfolg zeigt. Die Untersuchung wird exemplarisch an der Herdenmanagement-App *FokusMobil* des Landeskontrollverbands Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Insgesamt ist bei sieben Einstellungen ein Einfluss auf den Adoptionserfolg zu erkennen. Insbesondere eine als wenig aufwendig wahrgenommene Nutzung im Alltag und eine Arbeitszeitersparnis erhöhen den Adoptionserfolg.

Keywords: Adoptionserfolg, Herdenmanagement-App, Milchviehhaltung, Technologieakzeptanzmodell, Items

1 Einleitung

Herdenmanagementprogramme sind in der Milchviehhaltung zunehmend im Alltag zukunftsorientierter Betriebe etabliert. Je nach Ausstattungsvariante bieten die Programme für PC und Smartphone einfache bis komplexe Analysen zum Leistungsniveau und Gesundheitszustand der Kühe und verarbeiten die täglich anfallenden Daten in strategisch und operativ nutzbares Output. Die Erwartungen an Herdenmanagementprogramme reichen daher von einer möglichen Produktivitätssteigerung bis hin zu einer gesünderen Herde [Sc19]. Um diesen Erwartungen Rechnung zu tragen, ist ein umfassender Adoptionserfolg des Programms essentiell. In der vorliegenden Untersuchung wird der Einfluss unterschiedlicher Einstellungen auf den Adoptionserfolg von Herdenmanagementprogrammen exemplarisch anhand der Smartphone-Applikation *FokusMobil* des Landeskontrollverbands Nordrhein-Westfalen (LKV NRW) betrachtet. In einer vorangegangenen Teilstudie wurde bereits die Akzeptanz der dazugehörigen Web-Version *Fokus 2.0* mit Hilfe des Technologieakzeptanzmodells 2 (TAM 2) nach Venkatesh und Davis [VD00] untersucht.

[1] Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, verfuerth.larissa@fh-swf.de; firmenich.caroline@fh-swf.de; kramer.miriam@fh-swf.de; schmitz.laura@fh-swf.de; tuecking.nicole@fh-swf.de; mergenthaler.marcus@fh-swf.de; boelhauve.marc@fh-swf.de

2 Methodisches Vorgehen

Im Forschungsprojekt „Digitale Kuh 3.0“ wurden im Sommer 2019 insgesamt 30 Milchviehhaltende um ihre Einschätzung zu der Herdenmanagement-App *FokusMobil* gebeten. Der Fragebogen wurde anhand des TAM 2 strukturiert. Um die Determinanten standardisiert erheben zu können, wurden verschiedene Einstellungskonstrukte in abfragbare Items operationalisiert und mittels einer selbst-administrierten Paper-Pencil-Befragung von den Teilnehmenden bewertet. Zur Bewertung der Items konnte aus den Optionen 1 – *Lehne voll und ganz ab*, bis hin zu 5 – *Stimme voll und ganz zu* und 6 – *Keine Angabe möglich* – ausgewählt werden. Im Folgenden werden die Determinanten *Technikaffinität, Vertrauen* und *wahrgenommener Nutzen* genauer betrachtet. Für die Auswertung wurden die 26 männlichen und 4 weiblichen Befragten in „Experienced User“ und „Basic User“ unterschieden [vgl. Kr20]. Dabei zeichnen sich Basic User über die Eingabe vornehmlich managementbezogener Daten aus, wie die Dokumentation des Trockenstellens, während Experienced User darüber hinaus einzeltierbezogene Eingaben tätigen, beispielsweise die Dokumentation einer Klauenerkrankung. Bei den Experienced Usern liegt ein höherer Adoptionserfolg vor als bei den Basic Usern, da die App-Bestandteile umfassender genutzt werden. Die Unterschiede in den Einstellungen zwischen den beiden Nutzergruppen werden aufgrund der kleinen, nicht-repräsentativen Stichprobe lediglich als mögliche Einflussgrößen auf den Adoptionserfolg interpretiert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Technikaffinität

Die erste Aussage „Mit EDV-Programmen für die Milchviehhaltung kenne ich mich sehr gut aus“ wird von beiden Gruppen vornehmlich neutral bewertet. Jedoch tendieren die Basic User in höherem Maß zu einer ablehnenden Einstellung. Ausgeprägte EDV-Kenntnisse bedingen mutmaßlich eine stärkere Nutzungstiefe, da die Anwendung von EDV-Programmen technikaffinen Milchviehhaltenden leichter fällt [MBM19]. Die Äußerung „Ich informiere mich regelmäßig über neue EDV-Programme für die Milchviehhaltung“ wird häufiger von Experienced Usern bestätigt. Im Vergleich neigen die Basic User mehrheitlich zu einer negativen Bewertung. Der Adoptionserfolg wird also positiv vom regelmäßigen Informieren über Neuheiten beeinflusst. Der dritten Aussage „Ich nutze den PC häufig für verschiedene Zwecke des Herdenmanagements“ wird vermehrt von den Basic Usern zugestimmt. Smartphone-Nutzung scheint bei manchen Experienced Usern nicht ergänzend zum PC, sondern stärker ausschließlich stattzufinden. Die häufige PC-Nutzung bedingt somit eingeschränkt den Adoptionserfolg einer Herdenmanagement-App. Bereits die Befragung der *Fokus-2.0*-Nutzenden ergab, dass Doppeleintragungen unerwünscht sind und die App bevorzugt verwendet wird [Sc19]. Die Aussage „Ich bevorzuge für Aufgaben des Herdenmanagements die Papierform“ wird vor allem von den Experienced

Usern voll und ganz abgelehnt. Die starke Ablehnung eines papierbasierten Herdenmanagements fördert dementsprechend den Adoptionserfolg der App *FokusMobil*.

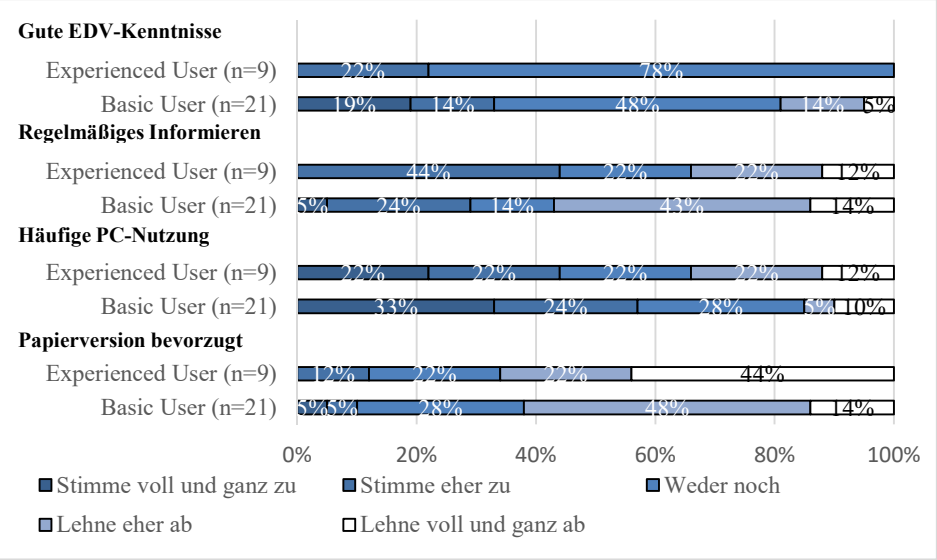


Abb. 1: Bewertung der Items zur Technikaffinität verglichen anhand der Nutzergruppen

3.2 Vertrauen

Der Aussage „Ich bin generell skeptisch, was die Datensicherheit von Smartphone-Anwendungen angeht“ wird häufiger von den Experienced Usern zugestimmt. Dass eine allgemein kritischere Einstellung zur Datensicherheit mit dem Adoptionserfolg zusammenhängt, erscheint kontraintuitiv, lässt sich aber damit erklären, dass der Datensicherheit beim LKV NRW ein hohes Vertrauen entgegengebracht wird [Sc19]. Dies zeigt auch die eher ablehnende Einstellung zur Äußerung „Ich bin generell skeptisch, was die Datensicherheit dieser Software angeht“. Die Nutzergruppen unterscheiden sich kaum, was einen geringen Einfluss auf den Adoptionserfolg zeigt. Weiterhin wurde die Aussage „Ich möchte möglichst viele Zugriffsrechte (z. B. für Mitarbeitende) für *FokusMobil*“ von Basic Usern eher zustimmend bewertet. Dass Zugriffsrechte in der App nicht nutzerdifferenziert zugeordnet werden können, scheint einen negativen Einfluss auf den Adoptionserfolg der Basic User zu haben, könnte jedoch auch in der persönlichen Einstellung gegenüber den Mitarbeitenden begründet liegen. Weiterhin kann durch verschiedene Zugriffsrechte die Interaktion der Mitarbeitenden gefördert werden, da eine schnelle Informationsweitergabe über die App möglich wird [Fe18]. Demnach kann das Einrichten von Zugriffrechten die Adoption der App und die daraus resultierende Nutzungstiefe möglicherweise steigern.

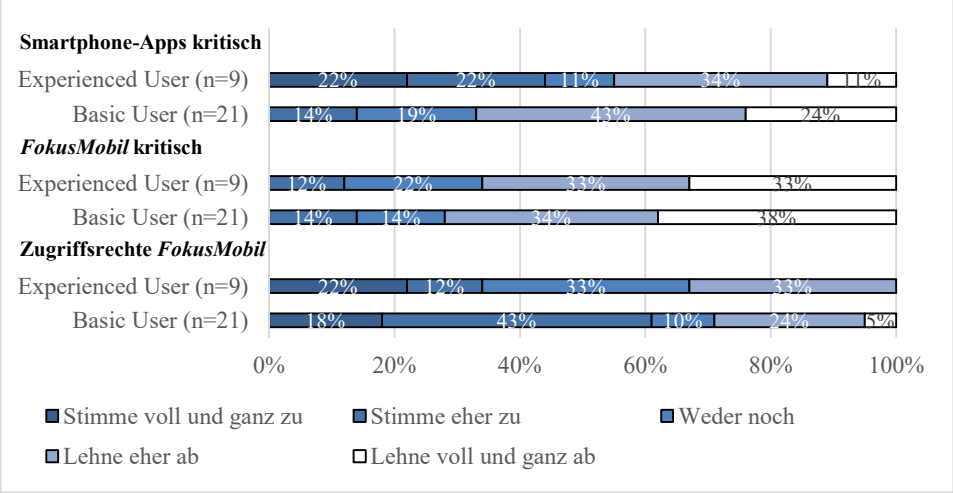


Abb. 2: Bewertung der Items zum Vertrauen im Vergleich der beiden Nutzergruppen

3.3 Wahrgenommener Nutzen

Die Äußerung „Für den alltäglichen Gebrauch ist mir die Nutzung von *FokusMobil* zu aufwendig“ wird von den Experienced Usern vornehmlich abgelehnt, was sich demnach positiv auf den Adoptionserfolg auswirkt. Die Einstellung der Basic User ist im Gegensatz dazu nicht so deutlich, da weniger die Aussage ablehnen. Eine vorherige Untersuchung ergab diesbezüglich, dass sich die Basic User weniger intensiv mit der App befassen, da Zeitmangel, technische Schwierigkeiten und der Wechsel zu einer digitalen Erfassung der Adoption von *FokusMobil* entgegenstehen [Kr20]. Die zweite Aussage „*FokusMobil* hilft mir dabei, frühzeitig Hinweise zu Krankheitsentwicklungen aufzuzeigen“ wird von den Experienced Usern eher abgelehnt und wirkt sich daher negativ auf die Adoption aus. Erklärt werden kann dies durch höhere Erwartungen der Experienced User, da diese umfassender einzeltierbezogene Daten erfassen und den Nutzen aus dieser Eingabe bisher zu wenig sehen können. Die Einstellung zu der darauffolgenden Äußerung „*FokusMobil* liefert hilfreiche Informationen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit“ stößt in beiden Nutzergruppen vornehmlich auf Zustimmung, jedoch weniger bei den Experienced Usern. Dieser negative Einfluss hängt gegebenenfalls auch mit der höheren Erwartungshaltung der Experienced User zusammen. Bei der Formulierung „Durch *FokusMobil* gelingt mir eine Arbeitszeitersparnis“ liegt durch die Zustimmung der Experienced User ein positiver Einfluss auf den Adoptionserfolg vor. Dies kann damit begründet werden, dass Experienced User die App umfassender nutzen als die Basic User, welche möglicherweise vermehrt auf eigene Dokumentationssysteme setzen [Kr20]. Die Bewertungen der letzten Aussage „Die Software erleichtert die Dokumentation und Verwaltung“ unterscheiden

sich kaum zwischen den Gruppen. Es ist kein Einfluss dieser Einstellung auf den Adoptionserfolg zu erkennen.

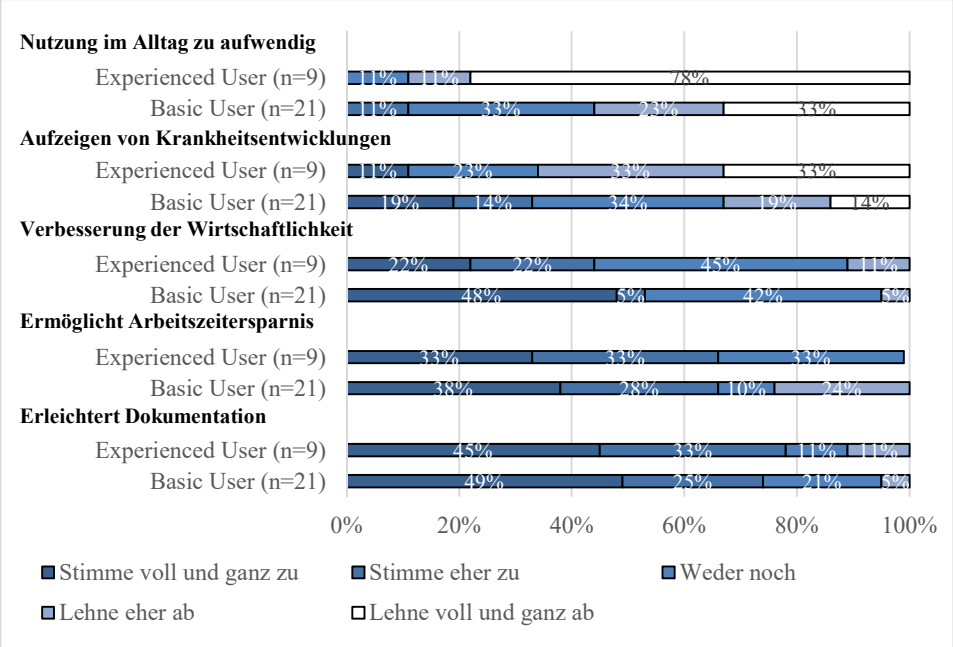


Abb. 3: Vergleich der bewerteten Items zum wahrgenommenen Nutzen zwischen Basic und Experienced User

4 Schlussfolgerung

Herdenmanagementprogramme für PC und Smartphone werden in Milchviehbetrieben für die Datenerfassung und -aufbereitung genutzt, um die Dokumentationspflicht zu gewährleisten und die Herdenbetreuung bestmöglich umzusetzen [Zi19]. Um den daraus resultierenden Erwartungen, wie Produktivitätssteigerung oder Kostenreduktion durch eine kontinuierliche Nutzung gerecht zu werden, ist der Adoptionserfolg des Programms im Betrieb essentiell. Die Adoption der Herdenmanagement-App *FokusMobil* ist in den 30 befragten Betrieben bereits erfolgt, jedoch mit unterschiedlicher Tiefe. Trotz der geringen Stichprobengröße wurden die Befragten den Gruppen der Experienced und Basic User zugeordnet, um Hinweise für einen variierenden Adoptionserfolg anhand der untersuchten Einstellungen zu erhalten. Dabei wurden die Einstellungen beider Gruppen gegenüber den operationalisierten Determinanten als potentielle Einflussgröße auf den Adoptionserfolg interpretiert. Insgesamt wurde bei sieben Einstellungskonstrukten ein positiver Einfluss festgestellt, da sich die Einstellungen der Experienced User von denen der Basic User

abheben. Bei der Technikaffinität zeigt sich, dass sich gute EDV-Kenntnisse und das regelmäßige Informieren über Neuheiten fördernd auf den Adoptionserfolg auswirken. Bei der Determinante Vertrauen wird deutlich, dass die Experienced User vermehrt auf die Datensicherheit ihrer Programme achten, was den Adoptionserfolg von *FokusMobil* positiv beeinflusst, da dem LKV NRW großes Vertrauen entgegengebracht wird. Die Einstellungen gegenüber dem wahrgenommenen Nutzen zeigen zudem, dass die Erwartungen der Experienced User höher sind. Der Einfluss liegt vornehmlich beim Aufwand der Nutzung und der im besten Fall daraus resultierenden Arbeitszeitersparnis, welche bei den Basic Usern weniger wahrgenommen werden. Anhand von Weiterentwicklungen der App und dem Angebot von Schulungen wird bereits daran gearbeitet, die Basic User an eine ganzheitliche Nutzung heranzuführen. Den Experienced Usern soll durch zusätzliche Auswertungen der erfassten Gesundheitsdaten ein weiterer Mehrwert geboten werden.

Danksagung

Die Daten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Digitale Kuh 3.0 – Entwicklung nutzerspezifischer Managementhilfen zur Verbesserung der Gesundheit sowie zur Optimierung tiergerechter Haltungssysteme von Milchkühen“ erhoben, welches vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen finanziert wird.

Literaturverzeichnis

[Fe18] Fecke, W. et.al.: Wie kommunizieren Landwirte in Zeiten der Digitalisierung? In Berichte über Landwirtschaft Band 96, Ausgabe 2, August 2018.

[Kr20] Kramer, M. et.al.: Akzeptanz von integrierten Herdenmanagementprogrammen zum Gesundheitsmonitoring auf rinderhaltenden Betrieben am Beispiel einer Smartphone-Applikation. In (Gandorfer, M. et al., Hrsg.): Digitalisierung für Mensch, Tier und Umwelt. Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 145-150, 2020.

[MBM19] Michels, M.; Bonke, V.; Musshoff, O.: Understanding the adoption of smartphone apps in dairy herd management. Journal of Dairy Science, Vol. 102 No. 10, S. 3020-3027, 2019.

[Sc19] Schütz, K. et.al.: Akzeptanz eines Herdenmanagement-Programms für PC und Smartphone auf rinderhaltenden Betrieben. In (Meyer-Aurich, A. et al., Hrsg.): Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen. Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 239-244, 2019.

[VD00] Venkatesh, V.; Davis, F. D.: A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management science, 46(2), S. 186-204, 2000.

[Zi19] Ziemes, T.: Die digitale Kuh 3.0. In Landwirtschaftliche Zeitschrift Rheinland, 30, S. 32-33, 2019.

Deep Learning in palynology

A use case for automated visual classification of pollen grains from honey samples

Philipp Viertel[1] and Matthias König[1]

Abstract: In this work, we will show a use case for visual pollen classification from honey samples. We discuss the current state of the art in pollen analysis, highlight the importance of data quantity and quality, and elaborate on how to transfer promising Deep Learning methods to the analysis of honey samples. A first experiment with a public data set is shown as well as samples from our work-in-progress data set. Our recommendations and methods show which steps are necessary in order to successfully deploy an automated pollen analysis solution for honey products.

Keywords: Deep Learning, Machine Learning, Palynology, Pollen analysis, Automation

1 Introduction

Deep Learning (DL) is a promising technology that offers a large field of applications. The field of palynology, the study and analysis of pollen grains, is an area that can greatly benefit from this technology. Palynology plays an important role for various disciplines, such as climate research, geology, allergy studies, and especially honey production. The study of the latter is also called melissopalynology.

A serious problem for beekeepers concerns the labelling of honey products. Beekeepers usually have to use generic names, such as summer honey, to label their produce. Due to the fact that honey yield can come from a large variety of plant sources it is necessary to identify the leading pollen, if one wants to label the honey by its majority pollen source. This procedure is offered by specialised laboratories and institutes which charge a fee; however, since most beekeepers are avocational, these services are usually not used, also due to the fact that it has to be done frequently for each honey yield. The high fees are justifiable, however, due to the nature of its process. A pollen perpetration sample has to be created by dilution and followed by centrifugation followed by a highly trained palynologist identifying the pollen grains visually and counting them. One gram of honey contains between 2,000 and 1 million pollen grains which can stem from more than 100 different plants. This entire process is very time-consuming, labour-intensive, and costly. To determine a honey product, e.g. canola honey, at least 80 % of the pollen have to come from canola. The required numbers vary from honey to honey.

[1] Fachhochschule Bielefeld, Campus Minden, Artilleriestr. 9, 32427 Minden, [Firstname].[Lastname]@fh-bielefeld.de

To address this issue, we worked with local beekeepers from the district of Minden-Lübbecke, to identify the issues that occur with local beekeeping and identifying and classifying the origin of their honey produce. We developed a use case that shows the individual steps that are necessary in order to make the application of DL models feasible in such scenarios.

2 Related Work

The need and the benefits of an automated pollen recognition system were described as early as in 1996 [SF96]. Stillman and Flenley mention the time-consuming process of extraction and identification by manual preparation and analysis. The time of such an analysis is estimated with 2 to 10 hours. The authors identify specific requirements for applicable solutions, such as increased speed, objectivity, and determination. With the advent of Machine Learning (ML), the requirements for automated pollen classification can be met. The majority of methods for a visual pollen classification task can be put into two categories: ML methods that require a manual definition of the features that describe pollen classes distinctively. Features can be derived from morphological features [Ha18] or based on colour or texture features. Although a large number of defined features exist, as shown in [Re15], it still requires work and the result is more static than the second option; the DL approach, which works similarly to a black box principle. A deep neural network finds the determinative features and patterns in the pollen on its own. Only the hyper parameters of the network itself and the training process as such are adjustable. Theoretically, such methods can operate with an infinite number of new pollen classes.

The largest obstacle is the absence of quality data sets. Most research is done on proprietary data sets that the researchers created or obtained themselves. This is problematic in multiple ways: it is difficult to validate the work of the authors and to compare different methods with each other since they are trained and evaluated on differing data sets. Therefore, it is not possible to make general statements about the performance and quality of the proposed methods, especially in its applicability. The data sets POLEN23E [Go16], by Duller et al. [Du99], and POLLEN13K [Ba20] are available and make up some of the exceptions. POLEN23E e.g. contains 805 images from 23 pollen classes, with a minimum resolution of 250x250 for each RGB image. The original authors of [Go16] use a Support Vector Machine (SVM) method and features based on colour, shape, and texture. An accuracy[2] of 64 % was achieved. [SA18] used the same data set, however with a Convolutional Neural Network (CNN) and a Linear Discriminant Classifier and achieved an accuracy of 97 %. Similar results, also using CNNs, but with proprietary data sets, were achieved in [SHA20] (97.86 %) and [Kh18] (95.9 %). But again, these methods use different data as well as different numbers of pollen.

[2] Accuracy is the fraction of all predictions that a model has correctly classified.

3 Method

3.1 Data requirements and acquisition

The largest problem, as already indicated in the introduction as well as in the related work, is the absence of freely available data. In order to train a DL model it is necessary to have a large number of images with specific qualitative standards. As of 2020, such data sets are sparse, as they are largely proprietary. POLEN23E e.g. fulfils the criteria, but it cannot be used in Germany, since the flora is specific to the Brazilian Savannah. Therefore, it is necessary to create a training data set that includes the common native species for the region, in which the application is intended to be deployed in. For this purpose, we worked

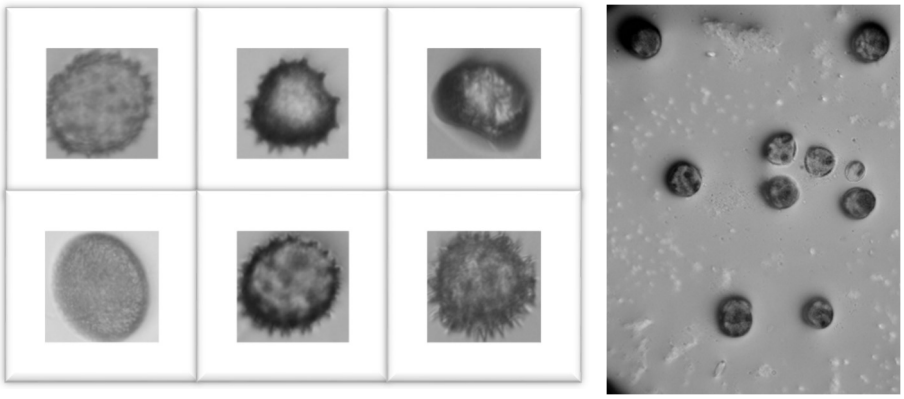


Fig. 1 Left: six different pollen classes from our work-in-progress data set. From left to right: *Solidago canadensis, Tanacetum vulgare, Alnus glutinosa, Sinapis arvensis, Symphyotrichum novae-angliae, Helianthus annuus.* Right: example of a pollen extraction from honey via sedimentation at 400 X magnification.

together with local beekeepers from the Minden-Lübbecke region. A set of specific requirements have to be met to create images that can be used in a DL model:

- The images have to be captured with a light microscope (LM) and at a magnification of at least 320 X to 1000 X (in accordance with the German DIN 10760).
- Pollen have a spheroid shape, i.e. ellipsoids with two semi-diameters. This means that pollen are 3D objects and can therefore appear differently under the LM, depending on their position. It is necessary to obtain a large variety of positions and foci of the pollen grains to assure a high generalisation effect.
- Pollen grains are best visible when isolated. However, pollen usually do not come in this ideal state. When pollen grains are cramped together in groups, adding liquids such as water on the object slide can disperse the pollen grains. It is important to consider the harmomegathic effect, i.e. the change of shape of the pollen when in a hydrated state.

- Each individual pollen grain has to be labelled, this is done manually, however, segmentation or detection algorithms can support this process if required.

Our own data set is work in progress, as shown in Figure 1. The data is collected from typical plants that grow in the area and are commonly found in honey yields.

3.2 Deep Learning model

If an adequate number of training images is acquired, the Machine Learning method has to be selected. Although not the only ones possible, but the most promising, DL methods achieve high accuracies in classifying pollen correctly. For visual tasks, CNNs are used. In our own experiments, we utilized the POLEN23 data set in order to validate the results. The data set contains 23 different pollen classes of which we removed 5 images per class for testing. The remaining images were randomly split into 80 % training data and 20 % validation data. The model achieved a validation accuracy of 96 %. When tested on isolated random samples (without cross-validation, in order to ensure real-life conditions) 78 % were achieved. For this test we used a pre-trained ResNet-101 architecture [He16] with transfer learning.

When tested on our own data (see Figure 1) with five classes (*alnus glutinosa, helianthus annuus, solidago canadensis, symphyotrichum novae-angliae* and *tanacetum vulgare*) and 25 images per class (80-20 split) we achieved a validation accuracy of 84 % and when tested on three random samples per class we achieved a classification accuracy of 80 %. All of the pollen samples were correctly classified, except *helianthus annuus.* The random samples contained grains that were not as illuminated as the training data, therefore, the characteristic spike-like features on the exine surface are not visible[3].

The final decision from the network output can also be supported by an expert system that includes knowledge about e.g. the current season or the frequency of occurrence of certain pollen in the local area, so that an informed decision can be made in the case of uncertain classification results.

Figure 2 illustrates all the necessary steps that our proposed solution requires. It is common practice, due to the complexity of DL models, to orientate oneself around best practices, in this regard, to models and networks that have proven to yield best results in the category of object detection and classification, e.g. the ResNet architecture, since the results from these areas are usually performed on uniform and standardized data sets.

[3] This shows that individual features, such as shape, are not enough to determine the class correctly. However, in this case, the classification can be corrected by adding more data to the training set.

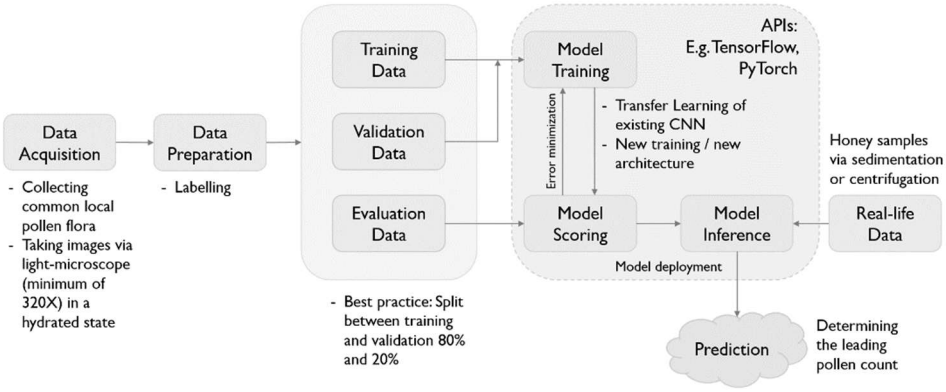


Fig. 2: Workflow for a DL solution to honey pollen analysis, from data acquisition to actual deployment, where images of honey pollen samples are analysed

4 Conclusion

This work showed that DL methods make it possible to classify pollen samples with high accuracy. This applicability can be used to classify pollen quantities in honey samples, given that an adequate number of images of local pollen types is available. Our own experiments showed that it is possible to recreate high accuracy pollen classification results and possibly transfer them to our case of application. For that purpose, the creation of a local data set for the area of Minden-Lübbecke is in progress, of which we showed some examples. The data acquisition process is of critical importance, since most DL methods work only as well as their training input.

5 Future Work

The pollen collection for the creation of a local data set is still in progress. Quality standards have been set and when enough data is acquired, labelling and training of various state of the art DL networks to evaluate the highest performance will be performed. Work on an autonomous, light-weight hardware solution for pollen analysis, that is intended to take an object slide with a prepared pollen sample and perform the methods described in this work, is also in progress. We believe that in the future our proposed method can help to increase the speed and reduce the costs of manual pollen analysis performed in laboratories and institutes or even allow beekeepers to perform their own analysis, when the DIN requirements are met.

References

[SF96] Stillman, E. C.; Flenley, J. R.: The needs and prospects for automation in palynology. In: Quaternary Science Reviews, vol. 15, no. 1, pp. 1–5, 1996.

[Re15] Redondo, R. et.al.: Pollen segmentation and feature evaluation for automatic classification in bright-field microscopy. In: Computers and Electronics in Agriculture, vol. 110, pp. 56–69, 2015.

[Du99] Duller, A. et.al.: A pollen image database for evaluation of automated identification systems. In: Quaternary Newsletter, vol. 89, pp. 4–9, 1999.

[Go16] Gonçalves, A. B. et.al.: Feature Extraction and Machine Learning for the Classification of Brazilian Savannah Pollen Grains. In: PLOS ONE, vol. 11, no. 6, 2016.

[Ba20] Battiato, S. et.al.: Detection and Classification of Pollen Grain Microscope Images. In: 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pp. 4220–4227, 2020.

[SA18] Sevillano, V.; Aznarte, J. L.: Improving classification of pollen grain images of the POLEN23E dataset through three different applications of deep learning convolutional neural networks. In: PLOS ONE, vol. 13, no. 9, 2018.

[SHA20] Sevillano, V.; Holt, K.; Aznarte, J. L.: Precise automatic classification of 46 different pollen types with convolutional neural networks. In: PLOS ONE, vol. 15, no. 6, 2020.

[Kh18] Khanzhina, N. et.al.: Pollen grain recognition using convolutional neural network. In: ESANN European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning, pp. 409-414, 2018.

[Ha18] Halbritter, H. et.al.: Illustrated Pollen Terminology. 2nd ed., Springer International, 2018.

[He16] He, K. et.al.: Deep Residual Learning for Image Recognition. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 770-778, 2016.

Dendrometers reflect physiological growth, leaf flushing cycles and water stress levels of cocoa trees

Thainná Waldburger [1], Marianne Cockburn[1], Philippe Monney[2] and Thomas Anken[1]

Abstract: We aimed to understand the development of cocoa trees in the semi-arid conditions of Brazil. Dendrometers continuously measure stem diameter variations of trees, displaying the trees' direct reaction to endogenous and exogenous factors. We analysed Daily Shrinkage (DS) and Daily Net Growth (DNG) with specific regard to the plants' behaviour regarding the flushing of new leaves.
We monitored the stem diameter of 15 trees over a period of 6 months. Additionally, we scored the plants leaf flushing behaviour. We found that DNG was determined by flushing behaviour, whereas environmental stressors determined DS. The largest growth of the trunk occurs during the no-flushing stage, whereas hardly any stem growth takes place during the flushing of new leaves. Once the new flushes are mature, the growth of the stem starts again. Daily Shrinkage, on the other hand, is affected by climatic parameters, where the level of shrinkage increases with increasing evapotranspiration.

Keywords: Daily shrinkage, daily net growth, evapotranspiration, stem, trunk diameter

1 Introduction

Cocoa is traditionally grown in humid tropical conditions. However, these conditions often result in phytosanitary issues, and thus poor production levels [Bl17]. This led farmers to explore new areas for cocoa production. Currently the semi-arid regions of Brazil are receiving increasing attention from farmers who assume that the hot and dry climate in these areas could reduce such phytosanitary problems and allow the implementation of intensive cropping systems with densities up to 2000 trees/ha [AC12; Ag14]. This intensification of production systems achieved satisfying results, yet, particularly the new climatic characteristics of the region raised concerns regarding the optimal management of

[1] Agroscope, Competitiveness and System Evaluation, Tänikon1, 8356 Ettenhausen.
thainna.waldburger@agroscope.admin.ch, https://orcid.org/0000-0000-0000-0000
[1] Agroscope, Competitiveness and System Evaluation, Tänikon1, 8356 Ettenhausen.
marianne.cockburn@agroscope.admin.ch.
[1] Agroscope, Competitiveness and System Evaluation, Tänikon1, 8356 Ettenhausen. thomas.anken@agroscope.admin.ch.
[2] Agroscope, Fruit production in the Alpine region, Route des Eterpys 18, 1964 Conthey. philippe.monney@agroscope.admin.ch.

trees in this environment. Sensors can precisely monitor plant behaviour and allow understanding the plants' reaction to stressful conditions.

The dendrometer is one of these sensors that can be installed directly on the tree stems to obtain information on the development of the plant [Co14]. This variation in stem growth reflects the physiological reaction of a plant to climatic stressors, such as drought [Ga19]. Considering the plants' physiological reaction to climatic stress in the semi-arid region could therefore allow managing irrigation more precisely.

2 Material and Methods

We monitored the daily stem variation of 15 cocoa trees of the cultivar CCN51 over 6 months in Juazeiro- BA, a semi-arid region of Brazil (BR, Coord. -9.122 -40.258). This region is characterized by average temperatures around 25°C and relative humidities below 50%. Dendrometers (Megatron, Megatron Electronic GmbH & Co.KG Munich, Germany) were fixed on top of the tree bark around the stem and aligned in the north direction (Fig. 1). The Agriscope (www.agriscope.fr) online platform was used to gather data every 15 minutes and sent to the Internet via a gateway that was installed on the farm. A meteorological station collected data on air temperature, radiation, air humidity and wind speed. We calculated Evapotranspiration (ET_0) [Al98] from this meteorological data. The plants' leaf flushing behaviour was further recorded weekly via direct observation (scoring 0-3, where 0 showed no flushing, and 3 the highest level of flushing).

Fig. 1: New flushes after pruning (left) and Dendrometer fixed to the cocoa tree (right)

Data were analysed in R version 4.0.2 (R Development Core Team 2018). We determined the Daily Shrinkage (DS) by calculating the daily maximum - daily minimum stem diameter per day [Go01]. Additionally, we calculated Daily Net Growth (DNG) by calculating the daily maximum value of the current day - the daily maximum value of the previous day. Data were cleaned from noise by excluding outliers (DNG < 150). For better functioning of the model, negative growth was also omitted.

We performed generalized linear mixed effects models ("lme" method, [PB00]) from the package "nlme4" for the two target variables DNG and DS. ET_0, Flush stadium and consecutive day of year were considered as fixed effects, whereas fruit abortion nested in fruit and trees were considered as random effects. The model residues were checked graphically using the Pearson correlation. Subsequently, we applied the function "*dredge*" (package MUMin, [Ba15]) with the Bayesian Information Criterion (BIC) to obtain the best model by considering all possible combinations of explanatory variables as well as their interactions. All models are hereby compared by model weight (w_i), where the best model will be the model with the highest w_i and include those explanatory variables which best describe the data. This approach presents an alternative to frequentist p value testing.

3 Results

We found that DS was determined by ET_0 and the consecutive day of the trial ($w_i = 0.82$), whereas DNG was determined by the stage of flushing and the consecutive day of the trial ($w_i = 0.94$) (Fig 2).

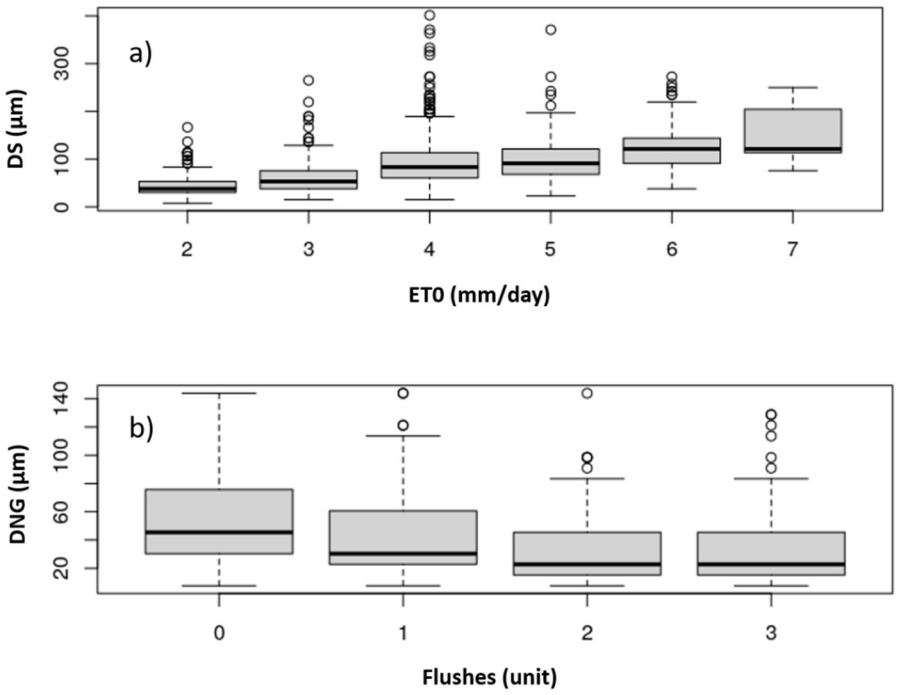


Fig. 2: Above) Daily Shrinkage (DS) increased with ET_0. Below) Daily Net Growth (DNG) is highest during the no flushing period (0: no flushing, 1: beginning of flushing, 2: more advanced stage of flushing and 3: mature leaves)

4 Discussion

4.1 Daily Shrinkage

We found that Cocoa trees reacted to rising ET_0 levels with increased shrinkage. The stem loses water during the day, which is due to the exposure to sun, wind and heat, and then expands after sunset, when the plant is recovering. The higher the exposure to environmental constraint, the stronger the tree will react. With specific regard to irrigation, we aim to use as little water as possible, without exceeding the plants' compensation potential.

4.2 Daily Net Growth

Our results confirmed the findings of Waldburger et al. [Wa19], which show that stem growth and flushing of leaves occur separately. The production of new leaves is characterized by release cycles lasting around 15 days and followed by one month of quiescence. The flushing cycle was observed by Abo-Hamed et al. (1981) [ACH81]. They portrayed the alternation in shoot elongation and quiescence periods, suggesting that flushing cycles are controlled by a regular cycle of accumulation and reduction of "*growth promoter"* and inhibitor compounds in the bud [ACH81; AV10]. During flushing of leaves, the growth of the cocoa trees' stem stagnates. As soon as the flushing of leaves has finished, the stem starts to grow again. Despite literature reporting the release of new leaves in cocoa being triggered by rain season [Ca12], this was not the case in our study. In fact, endogenous factors have a greater influence in this process [GLP71]. We hypothesise that rain season may play a minor role due to the continuous irrigation of the trees.

5 Conclusion

We found that cocoa trunk development was driven by alternating phases of new shoot elongation (flushes) and quiescence. This stop of stem growth shows that flushes have priority over stem and hence as fruits are attached to the stem, we assume to fruit growth too. Maybe better management could help to decrease important fruit abortion, which is more significant in the semi-arid climate.

DS is a good indicator of weather constraint, reacting coherently with $ET_{0,}$ and could therefore be used to improve irrigation management. In a next step, we suggest to define cocoa specific thresholds that avoid excessive irrigation, but allow the plant to reach optimal production levels.

We can apply our knowledge on plant behaviour to create practical solutions for irrigation systems, if we use sensors such as dendrometers, climate sensors and soil moisture sensors. Software can combine this information, and thus allow administering precise automated irrigation and thus reduce the wastage of water.

References

[Bl17] Blaser, W. J. et.al.: Shade trees have limited benefits for fertility in cocoa agroforests. Agriculture, Ecosystems & Environment, 243,83-91, 2017.

[AC12] Almeida, R. L.; Chaves, L. H. G.: Growth of Cocoa as a Function of Water and Nitrogen. Dallas, Texas, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1, 2012.

[Ag14] Agrolink, Assessoria. : Produção de cacau tem aumento de 590% em produtividade no Sul da Bahia. Available from: https://www.agrolink.com.br/noticias/producao-de-

cacau-tem-aumento-de-590--em-produtividade-no-sul-da-bahia_211004.html, Stand: 20.30.2019.

[Co14] Corell, M. et.al.: Using band dendrometers in irrigation scheduling: influence of the location inside the tree and comparison with point dendrometer. Agricultural Water Management, 142, 29-37, 2014.

[Ga19] García, R. et.al.: Combining dendrometer series and Xylogenesis imagery–DevX, a simple visualization tool to explore plant secondary growth phenology. Frontiers in Forests and Global Change, 2, 60, 2019.

[Al98] Allen, R.G. et.al.: Crop evapotranpiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 301. (Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998.

[Go01] Goldhamer, D. A.; Fereres, E.: Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. Irrigation Science, 20, 3, 115-125, 2001.

[PB00] Pinheiro, J. C.; Bates, D. M.: Linear mixed-effects models: basic concepts and examples. Mixed-effects models in S and S-Plus, 3-56, 2000.

[Ba15] Barton, Kamil.: Package 'MuMIn'. Version, 1, 18, 2015.

[Wa19] Waldburger, T. et.al.: Growing Cocoa in semi-arid climate – A scalable use case for digital agriculture. Agroscope Science, Agroscope, Tänikon, 86, 2019.

[ACH81] Abo-Hamed, S; Collin, H.A; Hardwick, K.: Biochemical and physiological aspects of leaf development in cocoa (Theobroma cacao L.). VI. Hormonal interaction between mature leaves and the shoot apex. New Phytol,89,191-200, 1981.

[AV10] De Almeida, A.; Valle, R. R.: Cacao: ecophysiology of growth and production. Ecophysiology of Tropical Tree Crops. FUOV Fabio Damatta Dept. Of Plant Biology, Vicosa, Brazil, 37-70, 2010.

[Ca12] Carr, M. K.V.: Advances in irrigation agronomy: plantation crops. Cambridge University Press, 2012.

[GLP71] Greathouse, D. C.; Laetsch, W. M.; Phinney, B. O.: The shoot-growth rhythm of a tropical tree, Theobroma cacao. American journal of botany, 58, 4, 281-286, 1971.

Früherkennung von Schwanzbeißen bei Schweinen auf der Basis von Deep Learning

Entwicklungskonzept eines praxistauglichen Frühwarnsystems

Peter Wißkirchen[1], Friederike K. Warns[2], Katharina Dahlhoff[2], Carina Goretzky[1], Timo Brune[1], Fouad Bitti[1], Harald Mathis[1] und Astrid van Asten[2]

Abstract: Schwanzbeißen (Caudophagie) bei Schweinen stellt ein schwerwiegendes und zugleich komplexes Problem in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung dar. Ziel des Projektvorhabens KISS (Künstliche Intelligenz gegen Schwanzbeißen bei Schweinen) ist die Konzeption und prototypische Entwicklung eines Decision Support Systems zur Analyse des Verhaltens einer Schweinegruppe, welches im Sinne eines Frühwarnsystems Hinweise auf verändertes Verhalten gibt. Zur automatischen Analyse bekannter Frühindikatoren dienen Verfahren des Deep Learning, deren Tragfähigkeit auch unter dem Aspekt praktikabler, kostengünstiger Lösung dargestellt wird.

Keywords: Schweine, Schwanzbeißen, Deep Learning, Frühwarnsystem, Decision Support System

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren wurde in wissenschaftlichen Forschungsarbeiten bereits eine Vielzahl von Faktoren beschrieben, die als Ursachen von Schwanzbeißen fungieren können und belegen, dass Schwanzbeißen ein multifaktoriell bedingtes Problem ist [Mo03]. Als mögliche endogene und externe Einflussfaktoren werden die Genetik, der Gesundheitsstatus, das Geschlecht, Alter und Gewicht der Tiere diskutiert, ebenso wie die Gruppengröße, das Absetzalter und -management, die Belegdichte, das Futter, die Fütterungstechnik, die Luftqualität und das Beschäftigungsmaterial [SS01, Ta10, So13].

Zur effektiven Prävention eines Ausbruchs von Schwanzbeißen ist das rechtzeitige Ergreifen von Gegenmaßnahmen entscheidend. Vor diesem Hintergrund wurden in den vergangenen Jahren Änderungen im Verhalten der Schweine zur Früherkennung eines bevorstehenden Schwanzbeißausbruchs intensiv erforscht. Hier zeigte sich, dass bereits bis zu sieben Tage vor dem Auftreten erster blutiger Schwanzverletzungen eine Änderung im Tierverhalten festzustellen ist [Zo11, We18, LAP19]. Die Ruhezeiten der Tiere

[1] Fraunhofer-Anwendungszentrum SYMILA, Paracelsuspark 3, 59063 Hamm, peter.wisskirchen@fit.fraunhofer.de; carina.goretzky@fit.fraunhofer.de; timo.brune@fit.fraunhofer.de; fouad.bitti@fit.fraunhofer.de; harald.mathis@fit.fraunhofer.de

[2] Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse, Haus Düsse 2, 59505 Bad Sassendorf, friederike.warns@lwk.nrw.de; katharina.dahlhoff@lwk.nrw.de; astrid.vombrocke@lwk.nrw.de

verkürzen sich bei gleichzeitig ansteigender Aktivität [Zo11, LAP19], die Schweine beschnüffeln und beknabbern vermehrt die Ringelschwänze der Buchtgenossen und der Anteil von hängend oder eingeklemmt getragenen Ringelschwänzen nimmt zu [De18, LAP18, We18].

2 Methoden und Material

Unter den Forschungsansätzen zur automatisierten Erkennung dieser Frühanzeichen bilden Methoden auf der Basis von Video-Aufzeichnungen einen gewissen Schwerpunkt, da sie anstreben, Bewegungsdynamik und Schwanzhaltung zu erkennen, ohne dass hierfür Markierungen der Schweine oder angeheftete Sensoren erforderlich sind. So ermittelten D'Eath et al. die Schwanzhaltung als Winkel des Schwanzes zum Boden mithilfe von 3D-Kamera-Aufnahmen und einem Algorithmus auf Gruppenebene [De18]. Will man die Schwanzhaltung und das dynamische Verhalten, z. B. Aggressionen und Verfolgungen auf tierindividueller Basis in einer normal besetzten Mastbucht erkennen, so zeigen aktuelle Forschungsresultate, dass hierzu Methoden des Deep Learning erfolgversprechend sind. Zur automatisierten Erkennung des Verhaltens von Schweinen mit Hilfe von Deep Learning wird in [Na19, Li20] ein Überblick gegeben. Die darin verfolgten Ansätze unterscheiden sich dadurch, ob statisches Verhalten wie z. B. Sitz- und Liegehaltungen [Na19] oder zeitlich-dynamisches Verhalten wie Rangkämpfe und Verfolgungen [Li20] erkannt werden soll.

Die im folgenden dargestellten Resultate und Konzepte gliedern sich in den erwähnten Kontext des Deep-Learning-Ansatzes ein. Grundlage ist hierbei das aus dem Deep-Learning-Bereich bekannte Erkennungsverfahren der Posenschätzung, bei dem in der Regel sehr feingliedrige skelettartige Körperteile und Gelenke erkannt werden. Leitgedanke für die nachfolgend beschriebenen eigenen Aktivitäten ist das Ziel, einen funktionsfähigen Prototyp zu entwickeln, bei dem Einsatzfähigkeit und Kosteneffizienz im Fokus stehen. Die beschriebenen Arbeiten sind Teil des Projektvorhabens KISS (Künstliche Intelligenz gegen Schwanzbeißen bei Schweinen), das aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank gefördert wird. Ziel des Projektvorhabens KISS ist die Konzeption und Entwicklung eines Decision Support Systems zur Analyse des Verhaltens einer Schweinegruppe, welches im Sinne eines Frühwarnsystems Hinweise auf verändertes Verhalten in Bezug auf Frühindikatoren von Schwanzbeißen gibt. Mithilfe der Erkennung von Posen aus Echtzeit-2D-Videoaufnahmen analysiert das System das dynamische Verhalten, indem es Position, Bewegungen und Interaktionen auf tierindividueller Basis auswertet. Ergänzend soll die Schwanzhaltung klassifiziert werden. Wichtig ist festzuhalten, dass die Erkennung von Posen sowie der Schwanzhaltung zunächst nur eine, wenn auch wichtige Basis für das Frühwarnsystem darstellt. Das hieraus abgeleitete Verhalten wird im nächsten Schritt aggregiert in Form zeitabhängiger Statistiken. Anschließend folgt die Bewertung dieses

Materials im Sinne der Relevanz für Warnhinweise. Hierzu dient der beschriebene Versuchsaufbau.

2.1 Versuchsaufbau

Die Verhaltensanalyse und Beobachtung wird durchgeführt im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen in Bad Sassendorf, Deutschland. Die Tiere haben ein durchschnittliches Absetzgewicht von ca. 7,80 kg. Der Versuch erfolgt im Rahmen der konventionellen Ferkelaufzucht in vier Buchten mit einer Gruppengröße von jeweils 35 Tieren. Die Haltungsumwelt kennzeichnet sich durch ein erhöhtes Platzangebot (0,5 m² je Tier), ad libitum Trockenfütterung, offene Tränkeschalen und verschiedene Beschäftigungsmaterialien. Das Verhalten der Tiere wird kontinuierlich über die gesamte Dauer der Ferkelaufzucht von sechs Wochen auf Video aufgezeichnet. Dazu wurden je Bucht zwei stationäre HD-Kameras (Bascom Bullet-Kamera Plus VB40, 1080p, 20 bps) installiert. Auf Grundlage dieser Videoaufzeichnung findet die weitere Auswertung statt.

3 Konzeptioneller Ansatz

Es wird ein überwachter Ansatz verfolgt (supervised deep learning), für den Trainingsdaten erforderlich sind. Die Erkennung von komplexeren Verhaltensformen von Schweinen baut auf den einzelnen Schweinen zugeordneten Grundformen auf. Statt der häufig [Na19 Li20] erwähnten Grundform des umhüllenden, achsenparallelen Rechtecks einerseits und andererseits feingliedrigen Posen [Gr19] wird eine einfache Pose, bestehend aus Nacken, Schwanzposition und gerichteter Rückenlinie von Nacken zu Schwanz benutzt. Im Gegensatz zu einem umgebenden Rechteck kann durch Kenntnis der Position von Kopf- und Schwanzposition auch die Orientierung im Raum bestimmt werden bis hin zu Maul-Schwanznäherungen.

Mithilfe der Posen-Struktur in Kombination mit der Entfernung, Beschleunigung und Geschwindigkeit, gegenseitiger Orientierung, sowie Kopf- und Rücken-Position können außerdem kurzzeitige Attacken erkannt werden, die eine Basis für weitere Statistiken liefern (s. Abb. 1). Auch hier, zur sog. Action Recognition, ist der Einsatz von Lernverfahren möglich. In [Li20] werden sich bewegende, „interagierende“ Rechtecke in eine Sekunde dauernde Zeitblöcke geschnitten, trainiert und mit einem speziellen Deep-Learning-Verfahren (LSTM) ausgewertet. Wir werden grundlegende Interaktionen mit dem bewährten traditionellen Lernverfahren der Random Forests [Br01] trainieren und Merkmale nutzen, die sich unmittelbar aus der Auswertung der Posen ergeben.

Ziel ist es dann, möglichst viele aus der Verhaltensforschung zum Schwanzbeißen bekannten Merkmale (atypische Schwanzhaltungen, Sequenzen mit aggressivem Verhalten, Schwanz-in-Maul-Situationen, Verfolgungen) aufbauend auf den durch Learning erkannten und klassifizierten Actions automatisch zu erkennen und statistisch

auszuwerten. Die sich ergebenden Ist-Werte sollen dann mit aus der Verhaltensforschung bekannten Soll-Werten abgeglichen werden und für die Früherkennung von Schwanzbeißen genutzt werden, wobei dann auch in einer Rückkopplung neue Erkenntnisse zum Verhalten gewonnen werden können, insbesondere, wenn außerordentliche Ereignisse wie Schwanzbeißen stattgefunden haben sollten.

Abb. 1: Beispiel einer kurzzeitigen Attacke, entdeckt aus zeitlicher Änderung der Posen

4 Ergebnisse

Für die Erkennung der Posen und deren zeitliche Koordinierung (Tracking) wurden für ein Demonstrationsvideo zunächst eigene Trainingsdaten erhoben (s. Abb. 2) [Vi20]. Dies war mit wenigen manuellen Annotationen möglich[3]. Für die Annotation der Trainingsdaten wurde ein interaktiver Editor zur Erfassung von Nacken- und Schwanzposition entwickelt. Beim Training wurden hieraus Patches (Rechtecks-Bereiche) zufällig herausgeschnitten und mit einem Image-Generator zufällig in Form und Farbe geändert. Dann wurde ein Deep Learning neuronales Netz zum Training verwendet, wobei die in [Os20] verfügbare Software auf die in KISS verwendete Posen-Struktur umgewandelt wurde. Das neuronale Netz liefert als Ausgabe vier Heatmaps für Nacken, Schwanz, x- und y-Komponente des gerichteten Rückenvektorfeldes als verkleinerte Graustufenbilder. Die hieraus abgeleiteten Positionen können zum Teil noch fehlerhaft sein und werden für die Generierung zeitlicher Abläufe automatisch korrigiert. Für die Verbindung von Kopf und Rücken werden die Vektorfelder genutzt, um falsche Verbindungen zu vermeiden. Dies geschieht durch Anwendung eines Zuordnungs-Algorithmus (Ungarische Methode) [Un20]. Mit diesen Maßnahmen gelingt ein Tracking von Positionen und Verbindungen (Nacken, Schwanz, gerichtete Rückenlinie) im zeitlichen Ablauf für die Analyse der zeitlichen Dynamik. Ein wichtiges Resultat hierbei ist, dass Schwanzpositionen angenähert individuell und im zeitlichen Ablauf bereitstehen. Definiert man um diese Schwanzpositionen Umgebungs-Rechtecke, so ist die Grundlage für eine anschließende Klassifikation der Schwanzhaltung mit einem schnell auswertbaren Deep-Learning-Klassifizierer geschaffen.

Das Grundproblem der Bereitstellung von Trainingsdaten kann mittlerweile für die im Projekt verwendete Posen-Struktur als gelöst angesehen werden. Hierzu wurde der von

[3] Trainiert wurden 20 Einzelbilder und nach Auswertung 100 Einzelbilder korrigiert (Aufwand etwa 1 Stunde)

der Universität Nebraska bereitgestellte frei verwendbare Trainingsdatensatz genutzt und modifiziert [Ps19]. Dieser Datensatz besteht aus 2000 Bildern und 24.824 individuell manuell annotierten Schweine-Posen. Aus diesem Datensatz wurde die von uns verwendete Posen-Struktur gewonnen und durch künstliche Verlängerung der Rückenlinie in Richtung Schwanz modifiziert. Das Training mit den so für das Projekt angepassten Daten war mit den für KISS erhobenen Videos in Haus Düsse sofort erfolgreich.

Abb. 2: Erkennung der verwendeten Posen-Struktur im Demonstrationsvideo [Vi20]

Als erster Schritt zur automatischen Erkennung von aus der Verhaltensforschung zum Schwanzbeißen bekannten Aktionen (Sequenzen mit aggressivem Verhalten, Schwanz-in-Maul-Situationen, Verfolgungen) wurden repräsentative Ausschnitte aus den Videos aus fachkundlicher Sicht ausgewählt und dann die Nacken-Schwanz-Paare der beteiligten Akteure im zeitlichen Ablauf erfasst. Hieraus wird eine geeignete Datenstruktur als Eingabe für die automatische Action Recognition abgeleitet.

5 Fazit und Ausblick

Die mithilfe von Deep Learning erreichten Resultate bieten eine Grundlage für weitere Entwicklungen. Eine Herausforderung wird sein, die automatisierte Erfassung mit einer Warnung beim Erreichen von Schwellenwerten, ab denen Verhaltensweisen ein pathologisches Stadium erreichen, zu kombinieren. Hierzu wird eine benutzerfreundliche Gestaltung des Systems als Decision **Support** System angestrebt, sodass der Tierhalter in eigener Verantwortung Interventionsmaßnahmen ergreifen kann.

Literaturverzeichnis

[Br01] Breiman, L.: Random forests. Machine Learning 45(1), 5-32, 2001.

[De18] D'Eath, R.B. et al.: Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. PloS one, 13(4), e0194524, 2018.

[Gr19] Graving, J.M. et al: DeepPoseKit, a software toolkit for fast and robust animal pose estimation using deep learning. eLife. 2019; 8: e47994. Published online 2019 Oct 1. doi: 10.7554/eLife.47994, 2019.

[LAP18] Larsen, M.L.V.; Andersen, H.M.L.; Pedersen, L.J.: Tail posture as a detector of tail damage and an early detector of tail biting in finishing pigs. Applied animal behaviour science, 209, 30-35, 2018.

[LAP19] Larsen, M.L.V.; Andersen, H.M.L.; Pedersen, L.J.: Changes in activity and object manipulation before tail damage in finisher pigs as an early detector of tail biting. Animal, 13(5), 1037-1044, 2019.

[Li20] Liu, D. et al.: A computer vision-based method for spatial-temporal action recognition of tail-biting behaviour in group-housed pigs. Biosystems Engineering, 195, 27-41, 2020.

[Mo03] Moinard, C. et al.: A case control study of on-farm risk factors for tail biting in pigs. Applied Animal Behaviour Science, 81(4), 333-355, 2003.

[Na19] Nasirahmadi, A. et al.: Deep Learning and Machine Vision Approaches for Posture Detection of Individual Pigs. Sensors, 19(17), 3738, 2019.

[Os20] Osokin, D. Lightweight-human-pose-estimation, https://github.com/Daniil-Osokin/-lightweight-human-pose-estimation-3d-demo.pytorch, Stand: 7.10.2020.

[Ps19] Psota, E.T. at al.: Multi-Pig Part Detection and Association with a Fully-Convolutional Network. Sensors, 19(4), 852

[SS01] Schrøder-Petersen, D.L.; Simonsen, H.B.: Tail biting in pigs. The Veterinary Journal, 162(3), 196-210, 2001.

[So13] Sonoda, L.T.: Tail Biting in pigs - Causes and management intervention strategies to reduce the behavioural disorder. A review. Berl Munch Tierarztl Wochenschr, 126(3-4), 104-12, 2013.

[Ta10] Taylor, N.R. et al.: Tail-biting: a new perspective. The Veterinary Journal, 186(2), 137-147, 2010.

[Un20] Ungarische Methode, https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ungarische_Metho-de&oldid=194102148, Stand: 27.10.2020.

[Vi20] Demonstrations-Video, https://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/tierhaltung/schweine/projekte/kiss/index.htm, Stand: 05.11.2020

[We18] Wedin, M.: Early indicators of tail biting outbreaks in pigs. Applied animal behaviour science, 208, 7-13, 2018.

[Zo11] Zonderland, J.J.: Characteristics of biter and victim piglets apparent before a tail-biting outbreak. Animal, 5(5), 767-775, 2011.

Unterscheidung von Mais- und Beikrautpflanzen unter Anwendung von multispektralen UAV-Bilddaten zur teilflächenspezifischen Beikrautregulierung

Lucas Wittstruck[1], Tobias Reuter[2], Konstantin Nahrstedt[1], Dieter Trautz[2], Insa Kühling[3] und Thomas Jarmer[1]

Abstract: In der landwirtschaftlichen Praxis werden Beikräuter flächendeckend bekämpft, obwohl diese zumeist erst ab einer bestimmten Schadschwelle zu einem nennenswerten Ertragsverlust führen. Die Beikrautbekämpfung hat negative Effekte wie Artenschwund, erhöhte Erosionsgefahr und Umweltbelastung durch Herbizide. Eine teilflächenspezifische Beikrautregulierung kann diese negativen Auswirkungen reduzieren und die Biodiversität im Feld erhöhen, ohne Ertragsverluste befürchten zu müssen. Im vorliegenden Beitrag wird ein Ansatz zur Identifizierung von Beikräutern und deren Differenzierung von Maispflanzen aus multispektralen UAV-Daten vorgestellt. Auf Basis dessen erfolgte eine teilflächenspezifische Beikrautregulierung, die mit einer flächendeckenden Bekämpfung verglichen und bewertet wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass sich drohnengestützte Multispektraldaten zur Erfassung von Beikräutern eignen. Diese konnten sowohl innerhalb als auch zwischen den Maisreihen erkannt und von den Nutzpflanzen differenziert werden. Die aus der Klassifikation abgeleitete teilflächenspezifische Beikrautregulierung ermöglichte die kleinräumige Bekämpfung von Beikräutern. Dadurch ließ sich ein Großteil der Beikräuter erhalten, ohne dass der Mais im Längenwachstum signifikant beeinträchtigt wurde.

Keywords: Drohne, Machine Learning, Precision Agriculture, Remote Sensing, Unkrautbekämpfung

1 Einleitung

Beikräuter stehen mit Nutzpflanzen in Konkurrenz um essenzielle Wachstumsfaktoren wie Licht, Nährstoffe und Wasser. Sie gehören damit zu den wichtigsten biotischen Schadursachen in der Landwirtschaft [Oe06]. Neben der Schadwirkung bieten diese aber auch einen Nutzen, sowohl als Lebensraum für Insekten als auch als Nahrungsquelle für Vögel und Bestäuber [Fl18] sowie als Schutz vor Erosion und Deflation [SWG18].

In der Praxis wird die Bekämpfung flächendeckend durchgeführt. Dies ist jedoch nicht zwingend notwendig, da Beikräuter nicht auf der gesamten Fläche in einem schädlichen Maß vorkommen [Cr09]. Durch eine flächendeckende Bekämpfung werden die positiven

[1] Universität Osnabrück, Institute of Computer Science, Remote Sensing Group, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, lwittstruck@uni-osnabrueck.de
[2] Hochschule Osnabrück University of Applied Sciences Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, Am Krümpel 31,49090 Osnabrück, tobias.reuter@hs-osnabrueck.de
[3] Kiel University, Agronomy and Crop Science, Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel, kuehling@pflanzenbau.uni-kiel.de

Eigenschaften der Beikräuter und die Artenvielfalt verringert [Kl07]. Darüber hinaus belasten Herbizide Boden und Gewässer [Sc18]. Auch eine mechanische Regulierung weist Nachteile auf, da durch die Bodenbewegung Wasser freigesetzt [De20] und die Bodenstruktur geschädigt wird [BC09].

Eine teilflächenspezifische Beikrautbekämpfung kann die negativen Effekte reduzieren und die Segetalflora (neben den angebauten Kulturpflanzen wildwachsende Pflanzenarten) schonen. Zusätzlich können Ressourcen wie Treibstoff und Herbizide eingespart werden [Po20]. Mithilfe von Unmanned Aerial Vehicle (UAV) können kostengünstig große Flächen untersucht werden [Lo11]. Erste Studien belegen das Potenzial von multispektralen UAV-Daten zur Identifizierung von Beikräutern auf landwirtschaftlichen Nutzflächen [To13, Lo16]. Untersuchungen zur teilflächenspezifischen mechanischen Beikrautbekämpfung auf Basis von UAV-Daten liegen aktuell jedoch kaum vor.

Im Fokus dieser Untersuchung lag die Klassifikation von Mais- und Beikrautpflanzen zur teilflächenspezifischen Beikrautregulierung anhand von drohnengestützten Multispektraldaten. Diese Form des Unkrautmanagements wurde mit einer flächendeckenden Beikrautregulierung verglichen und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet.

2 Material und Methoden

Im Rahmen der vorgestellten Studie wurde am 10.06.2020 nördlich der Stadt Osnabrück ein Versuchsfeld mit einer Fläche von 7.650 m² angelegt. Es erfolgte eine Aussaat von 60 Maisreihen mit einem Abstand von 75 cm (Aussaattiefe 5 cm). Drei Varianten des Beikrautmanagements wurden untersucht: *Flächendeckend*, *Teilflächenspezifisch* und *Nullkontrolle* (ohne Beikrautregulierung). Die Umsetzung der Varianten erfolgte als regelmäßige Bearbeitungsstreifen mit jeweils 4 Maisreihen. Die Streifen wurden vierfach wiederholt und randomisiert angelegt. 13 Tage nach der Aussaat wurde unter Ausschluss der *Nullkontrolle* die Bearbeitung des Blindstriegelns vorgenommen, um das Aufkommen von Beikräutern innerhalb dieser Flächen zu reduzieren.

Für die teilflächenspezifische Beikrautbekämpfung aus drohnengestützten Multispektraldaten erfolgte am 02.07.2020 eine Befliegung der Untersuchungsfläche (Entwicklungsstadium BBCH 15, [Me01]). Als Drohne diente eine DJI Matrice M210 mit der Multispektralkamera MicaSense Altum (Blau: 475 nm, Grün: 560 nm, Rot: 668 nm, Nahes Infrarot: 717 und 840 nm). Die Flughöhe der Drohne betrug 46 m, wodurch eine räumliche Bildauflösung von 2 cm erreicht wurde. Die Prozessierung der aufgenommenen Multispektraldaten erfolgte unter Anwendung der Software Agisoft Metashape (Version 1.5.3). Hierbei wurden die Grauwertinformationen der Bilddaten anhand eines im Gelände eingemessenen Reflexionspanels berechnet. Des Weiteren wurden die Einzelbilder zu einem Orthomosaik zusammengefügt.

Für die Differenzierung von Mais und Beikräutern sind insgesamt 48 Beprobungsflächen (Größe 1 m²) im Untersuchungsgebiet festgelegt und mit einem differentiellen GPS (Stonex S9 III) eingemessen worden. Innerhalb dieser Flächen wurden hochaufgelöste Fotos der auftretenden Mais- und Beikräuter aufgenommen, die in Folge als Digitalisierungsgrundlage zur Bestimmung der Klassen aus den aufgenommenen Drohnendaten dienten. Für die Klassifikation wurden die Klassen *Mais*, *Beikraut* sowie *unbedeckter Boden* definiert und manuell aus den Multispektraldaten digitalisiert. Die 48 digitalisierten Beprobungsflächen sind anschließend zu gleichen Teilen in Trainings- und Testdaten aufgeteilt worden, wobei zufällig 1000 Pixel pro Klasse aus den Testdaten für die Auswertung entnommen wurden.

Die Identifizierung von Mais und Beikräutern erfolgte auf Basis einer Random-Forest-Klassifikation. Das Verfahren basiert auf einer Vielzahl an Entscheidungsbäumen, deren Einzelergebnisse zu einer gemeinsamen Klassifikation kombiniert werden. Aufgrund der Anzahl der am Prozess beteiligten Entscheidungsbäume gilt dieses Verfahren als sehr robust gegenüber der Überanpassung an vorliegende Trainingsdaten sowie unausgeglichene Klassengrößen [Pa05]. In dieser Arbeit wurde der Random-Forest-Klassifikator mit insgesamt 500 Bäumen instanziiert. Zur Trennung der Klassen innerhalb der Entscheidungsbäume wurde der Gini Index [Br84] als Entscheidungsregel angewendet. Die Umsetzung erfolgte in der Programmiersprache Python (Version 3.7).

Am 08.07.2020 (BBCH 16) wurden die Beikräuter mit einen Dammhäufler (Arbeitsbreite 1,5 m) mechanisch bekämpft. Für die teilflächenspezifische Beikrautregulierung sind die Bearbeitungsstreifen in Segmente mit einer Länge von jeweils 10 m unterteilt worden (insgesamt 68 Segmente). Innerhalb dieser Segmente wurde die vom Klassifikator ausgegebene Beikrautbedeckung in Abhängigkeit von der Segmentgröße berechnet. Ab einem ausgewiesenen Beikrautanteil von 5 % erfolgte eine teilflächenspezifische Beikrautregulierung. Während die Bearbeitungsstreifen der Variante *Flächendeckend* ganzheitlich bekämpft wurden, blieb die *Nullkontrolle* unbehandelt.

Für den Vergleich und die Bewertung der beschriebenen Beikrautregulierungsmethoden wurden vier Wochen nach der Bearbeitung das Längenwachstum der Maispflanzen und der Beikrautbedeckungsgrad innerhalb der Beprobungsflächen aufgenommen. Die Maishöhen gelten als Indikator für die Pflanzenvitalität und stehen in direktem Zusammenhang mit dem Ertrag [Yi11]. Für die Parameter Beikrautbedeckungsgrad und Maispflanzenhöhe wurde mit einer ANOVA auf signifikante Unterschiede (Irrtumswahrscheinlichkeit α=0,05) zwischen den Varianten getestet. Als Post-Hoc-Test wurde Tukey's HSD (honestly significant difference) Test gewählt (Irrtumswahrscheinlichkeit α=0,05). Die statistische Auswertung wurde mit der frei zugänglichen Software R (Version 4.0.3) durchgeführt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Das Ergebnis der Klassifikation zur teilflächenspezifischen Beikrautregulierung ist in Abbildung 1 dargestellt. Das Klassifikationsergebnis zeichnete sich durch eine gute Differenzierbarkeit zwischen Mais- und Beikrautpflanzen aus. So wurden die Pflanzen in ihrer Größe und Form überwiegend korrekt abgebildet, wobei nur vereinzelt Fehlzuordnungen auftraten. Die Erfassung der Beikräuter war sowohl zwischen als auch innerhalb der Pflanzenreihen in den meisten Fällen korrekt. Besonders herauszustellen ist die hohe Klassifikationsgenauigkeit für die unbehandelten Bereiche des Feldes (Nullkontrolle), in denen sich durch den dominierenden Beikrautbewuchs Maispflanzen visuell schwer identifizieren ließen. Einflussfaktoren wie unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen und Schattenbildungen in den Bilddaten konnten durch den Klassifikationsansatz kompensiert werden.

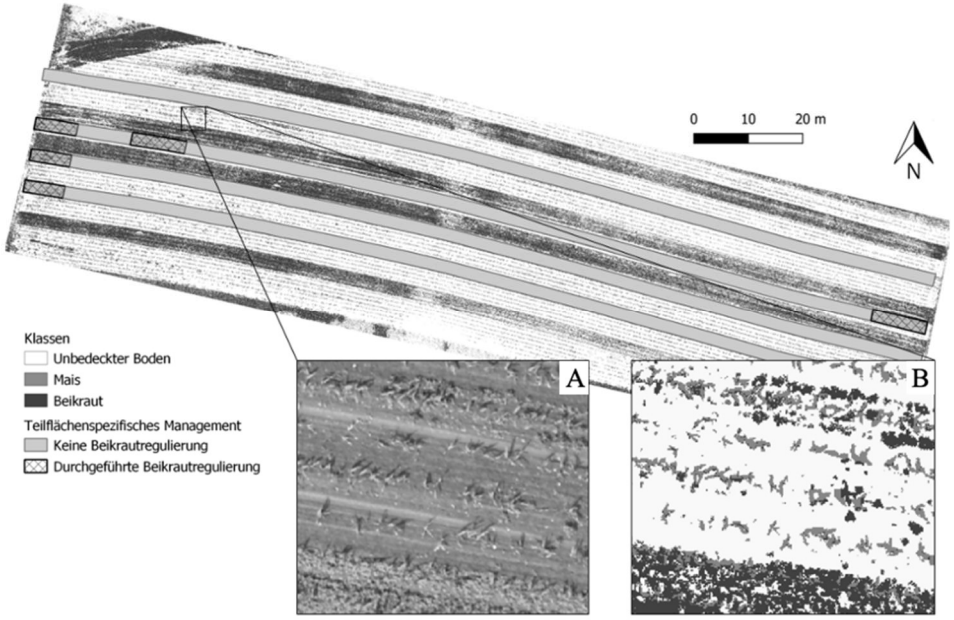


Abb. 1: Ergebnis der Random-Forest-Klassifikation, sowie die Darstellung eines Bildausschnittes des Originalbildes (NIR) (links) und der Klassifikation (rechts)

Bezogen auf die Klassifikationsgüte ergab sich für den Klassifikationsansatz eine Gesamtgenauigkeit von 80 %. Mit einer Produzentengenauigkeit (PA) von deutlich über 90 % lag für die Klasse *unbedeckter Boden* die höchste Klassifikationsgenauigkeit vor. Fehlklassifikationen traten überwiegend kleinräumig auf, wo aufgrund der räumlichen Auflösung die genaue Abgrenzung der Pflanzenkonturen oder die Abbildung von Beikräutern mit geringer Größe beeinträchtigt wurde.

Für die Klassen Mais und Beikraut wurden Klassifikationsgenauigkeiten (PA) von 72,1 % und 72,7 % erreicht. Damit lässt sich zeigen, dass eine Differenzierung durch das spektrale Signal in den meisten Fällen ermöglicht wurde. Dies bestätigt die Ergebnisse vergleichbarer Studien [To13, Lo16]. Fehlzuordnungen ergaben sich in erster Linie durch die partielle Überlagerung von Mais- und Beikrautpflanzen im Bestand.

Die teilflächenspezifische Beikrautregulierung erfolgte unter Berücksichtigung des gewählten Schwellwertes von 5 % innerhalb von fünf der insgesamt 68 ausgewiesenen Teilsegmente. Damit musste lediglich eine Fläche von etwa 7 % bearbeitet werden, was sich positiv auf die Bodenstruktur auswirkt [BC09]. Die Ergebnisse der Signifikanzanalyse auf Basis der gemessenen Wuchshöhen ergaben, dass es zwischen der teilflächenspezifischen und der flächendeckenden Beikrautregulierung keine signifikanten Unterschiede gab. Aus diesem Grund ist der vorgeschlagene Ansatz als erfolgreich zu bewerten. Es kann außerdem davon ausgegangen werden, dass durch diese Bekämpfungsmethode die Biodiversität gegenüber der flächendeckenden Bekämpfung gesteigert werden konnte, ohne einen Ertragsverlust hinnehmen zu müssen.

Für die Nullkontrolle konnte ein deutlich höherer Beikrautbedeckungsgrad (*Nullkontrolle*: 83,8 %, *Teilflächenspezifisch*: 52,3 %, *Flächendeckend*: 61,9 %) sowie eine erheblich geringere Maishöhe (*Nullkontrolle*: 159 cm, *Teilflächenspezifisch*: 200 cm, *Flächendeckend*: 212 cm) festgestellt werden. Die flächendeckende Bekämpfung resultierte in einem signifikant geringeren Bedeckungsgrad an Beikräutern als bei den übrigen Varianten.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass das vorgeschlagene Verfahren zur teilflächenspezifischen Beikrautbekämpfung aus drohnengestützten Multispektraldaten ein großes Potenzial bietet. Durch das gezielte Beikrautmanagement konnten der Arbeitseinsatz sowie die Bodenbelastung deutlich reduziert werden. Zugleich ließ sich ein Großteil der Beikräuter erhalten, ohne die Kulturpflanze im Wachstum signifikant zu schwächen. Zur Optimierung des Verfahrens gilt es in zukünftigen Studien weitere Schwellenwerte für die teilflächenspezifische Regulierung zu überprüfen. Für die Erfassung und Differenzierung von Mais- und Beikrautpflanzen erscheint es zudem sinnvoll, Nachbarschaftsbeziehungen anhand von räumlichen Bildinformationen zu berücksichtigen.

Acknowledgement

„Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft mit dem Förderkennzeichen 28DE103C18.“

Literaturverzeichnis

[BC09] Ball, B.; Crawford, C.: Mechanical weeding effects on soil structure under field carrots (*Daucus carota L.*) and beans (*Vicia faba L.*). Soil Use Management, 25(3), 303-310, 2009.

[Br84] Breiman, L. et al.: Classification and regression trees (Monterey, CA: Wadsworth), 1984.

[Cr09] Christensen, S. et al.: Site-specific weed control technologies. Weed Research, 49(3), 233–241, 2009.

[De20] Deng, Y. et al.: Effects of different weeding methods on the biomass of vegetation and soil evaporation in eucalyptus plantations. Sustainability (Switzerland), 12(9), 2020.

[Fl18] Flügel, H.-J.: Die Blütenökologie der Ackerwildkräuter. Lebbimuk: Abhandlungen & Berichte aus dem lebendigen Bienenmuseum in Knüllwald (LBMK) 15, (September), 64–87, 2018.

[Kl07] Klein, A. et al.: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274(1608), 303–313, 2007.

[Lo11] López-Granados, F.: Weed detection for site-specific weed management: Mapping and real-time approaches. Weed Research, 51(1), 1-11, 2011.

[Lo16] López-Granados, F. et al.: Object-based early monitoring of a grass weed in a grass crop using high resolution UAV imagery. In Agronomy for Sustainable Development, 36(67), 1–12, 2016.

[Me01] Meier, U.: Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2001.

[Oe06] Oerke, E.: Crop losses too pests. Journal of Agricultural Science, 144(1), 31-43.

[Pa05] Pal, M.: Random forest classifier for remote sensing classification. International Journal of Remote Sensing, 26(1), 217–222, 2005.

[Po20] Pohl, J.-P. et.al.: Verfahren zur Herbizidreduktion. In (H. Nordmeyer & L. Ulber): 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 216–221, 2020.

[Sc18] Schäffer, A. et.al.; Der stumme Frühling – Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes, 2018.

[SWG18] Selfors, L.; Werts, P.; Green, T.: Looking beyond the jug: Non-chemical weed seedbank management. Crops & Soils, 51(5), 28–53, 2018.

[To13] Torres-Sánchez, J. et al.; Configuration and specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for early site specific weed management. PLoS ONE, 8(3), 1-15, 2013.

[Yi11] Yin, X. et.al.: In-season prediction of corn yield using plant height under major production systems. Agronomy Journal, 103, 3, 923-929, 2011.

CattleHub – Assistenzsysteme für eine intelligente Rinderhaltung

Johanna Ahmann[1], Kathrin Asseburg[2], Kristina Höse[3], Natalia Kluth[4], Heiko Neeland[5], Dirk Plettemeier[6], Martin Wagner[7] und Wolfgang Büscher[1]

Abstract: Als eines von 14 digitalen Experimentierfeldern, die 2019 in Deutschland eingerichtet wurden, befasst sich *CattleHub* mit Assistenzsystemen für eine intelligente Rinderhaltung. Das Experimentierfeld teilt sich in sieben Experimentierbereiche mit unterschiedlichen Schwerpunkten auf. Das übergeordnete Ziel des Experimentierfeldes ist der Wissenstransfer, durch den Landwirte und deren Tiere profitieren. Durch einen Bewertungsrahmen und eine Umfrage soll zunächst der Status quo der Digitalisierung in der deutschen Rinderhaltung erhoben werden. Mit dem eigenen Referenzsystem *OpenCattleHub* sollen die verschiedenen auf dem Markt befindlichen digitalen Systeme validiert und bewertet werden. Dafür wird der direkte Kontakt zu den Landwirten gesucht.

Keywords: Assistenzsysteme, Rinderhaltung, Digitalisierung, Sensorik, Tracking, Automatisierung

1 Einleitung

Digitale Technologien stellen auch in der Landwirtschaft einen immer wichtigeren Faktor dar. Unabhängig davon, ob es sich um die Tierhaltung oder den Pflanzenbau handelt, gewinnt die Digitalisierung zunehmend an Bedeutung. Nach einer Umfrage der Bitkom Research GmbH aus dem Jahr 2020 stimmen 93 % der befragten Landwirte der Aussage „Digitale Technologien helfen Dünger, Pflanzenschutzmittel und andere Ressourcen einzusparen“ zu. Der Aussage „Digitale Technologien können zur Steigerung des Tierwohls beitragen“ schließen sich 65 % der Befragten an. Des Weiteren geben 64 % an, dass mithilfe der digitalen Technologien langfristig Kosten gesenkt werden können. Das Potenzial der Digitalisierung nutzen bereits acht von zehn Betrieben [Br20].

[1] Universität Bonn, Institut für Landtechnik, Nußallee 5, 53115 Bonn, johanna.ahmann@uni-bonn.de, buescher@uni-bonn.de
[2] Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Haus Düsse 2, 59505 Bad Sassendorf, kathrin.asseburg@lwk.nrw.de
[3] Technische Universität Chemnitz, Professur BWL III Unternehmensrechnung und Controlling, Thüringer Weg 7, 09126 Chemnitz, kristina.hoese@wirtschaft.tu-chemnitz.de
[4] Universität Jena, Servicezentrum Forschung und Transfer, Fürstengraben 1, 07743 Jena natalia.kluth@uni-jena.de
[5] Thünen-Institut für Agrartechnologie, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 47, 38116 Braunschweig, heiko.neeland@thuenen.de
[6] Technische Universität Dresden, Professur für Hochfrequenztechnik, Helmholtzstr. 10, 01062 Dresden, christoph.statz@tu-dresden.de
[7] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Am Park 3, 04886 Köllitsch, Martin.Wagner@smul.sachsen.de

Dennoch gibt es Aspekte der Digitalisierung, die bei Landwirten zu Hemmnissen führen. Insbesondere der hohe Investitionsbedarf wird als Restriktion angesehen. Ein zweiter Grund ist die Sorge um sensible Betriebsdaten und den damit verbundenen Datenschutz. Dieser Faktor hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Außerdem wird das Fehlen von Schnittstellen zwischen Systemen verschiedener Hersteller von den Landwirten als Problem genannt [SG18].

In dem vom BMEL geförderten Experimentierfeld *CattleHub* geht es um den Einsatz digitaler Technik in der Rinderhaltung. Das Projekt soll vor allem die Etablierung digitaler Assistenzsysteme in der Rinderhaltung unterstützen und aktiv stärken. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit findet in sieben Experimentierbereichen an unterschiedlichen Standorten in Deutschland statt.

2 Das Experimentierfeld CattleHub

Innerhalb des Experimentierfeldes sollen unterschiedliche digitale Systeme validiert und spezifische Verbesserungen in den Bereichen Tracking, Sensorik, Funkvernetzung sowie Energieversorgung angestrebt werden. Weiterhin soll der Einsatz von künstlicher Intelligenz geprüft werden und zu höheren Prognosesicherheiten in der Datenanalyse beitragen. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend aufbereitet und in die praktische Rinderhaltung übertragen. Dazu stellt der Wissenstransfer in allen Experimentierbereichen das übergeordnete Ziel dar (s. Abb. 1).

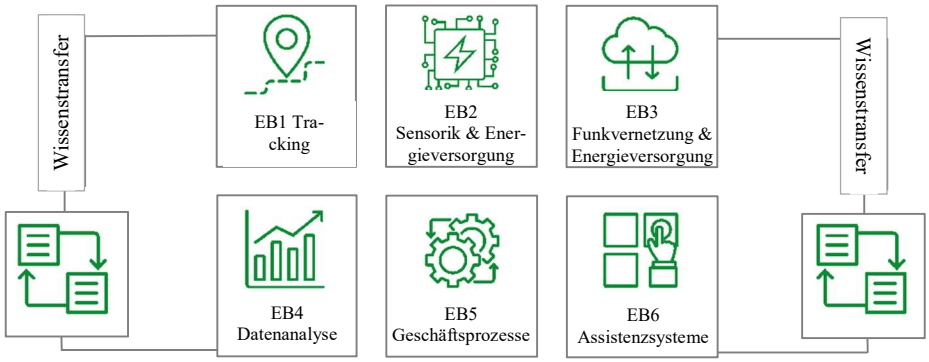


Abb. 1: Die sieben Bereiche des Experimentierfeldes

Der Experimentierbereich „Tracking“ befasst sich mit Ortungssystemen. Diese Systeme liefern viele Informationen über das Tier, die hinsichtlich der Tiergesundheit ausgewertet werden können. Zum einen lassen sich mit Trackingsystemen Tiere genau lokalisieren, zum anderen können durch Tracking gemessene Positionen im Stall und auf der Weide verhaltenstypischen Aktivitäten wie z. B. Fressen, Ruhen oder Grasen zugeordnet werden.

Aus diesen ermittelten Positionen und deren zeitlichem Verlauf versucht die Wissenschaft Aussagen über verschiedene Verhaltensweisen und das Wohlbefinden der Tiere abzuleiten. Jedoch ist Tracking nicht nur auf die Lokalisierung und die Bestimmung ableitbarer Verhaltensweisen von Kühen, Rindern oder Kälbern beschränkt. Es ist auch denkbar, den zunehmenden Einsatz von Spaltenrobotern und automatischen Futterschiebern im Zusammenspiel mit der gesamten Infrastruktur im Stall mittels Tracking zu verbessern.

Im Experimentierbereich „Sensorik & Energieversorgung“ werden Sensorsysteme unter dem Aspekt der allgemeinen Nutzbarkeit durch den Landwirt betrachtet. Mittels digitaler Sensorik lassen sich heute nahezu sämtliche Vitalitätsparameter eines Rindes in Echtzeit bestimmen und überwachen [JU20]. Innerhalb des Projektes werden Verbesserungen für die energetische Versorgung dieser Systeme angestrebt, um bestehende Systeme nachhaltiger und langlebiger zu gestalten. Auch der Experimentierbereich „Funkvernetzung & Energieversorgung“ setzt sich mit dem Thema Energie und zusätzlich mit dem Aspekt der Vernetzung auseinander. Wichtigster Einflussfaktor auf die Energieeffizienz – und damit Betriebsdauer eines Sensor- und Trackingsystems – ist die Effektivität der Funkübertragung. Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Qualität und Sicherheit der Übertragung ist das Kanalumfeld, wobei Verdeckung, Sichtbedingungen und Kommunikationsabstand sowie Ausbreitung am Körper der Kuh eine wichtige Rolle spielen. Diese Parameter können durch Simulation des Kommunikationsumfeldes und Versuche im Labor- und Herdenumfeld bestimmt werden.

Um gewonnene Daten sinnvoll zu nutzen und weitere Erkenntnisse aus der großen Menge an Daten zu generieren, sind fortschreitende Entwicklungen bei der Datenanalyse und den Prognosemodellen wichtig. Dabei kommen neben statistischen Methoden vermehrt Verfahren des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz zum Einsatz. Innerhalb des Experimentierbereiches „Datenanalyse“ sollen beispielsweise Auswertungsmethoden der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens untersucht werden und für höhere Prognosesicherheiten sorgen.

Der Fokus des Experimentierbereiches „Geschäftsprozesse“ liegt in der Identifikation, Analyse und Bewertung von Geschäftsprozessen und Geschäftsmodellen involvierter Akteure (bspw. Landwirte) im Bereich der teilautomatisierten Rinderhaltung. Für die Rinderhaltung existieren bereits einige unterstützende Informationstechniken, mit denen die sich abzeichnenden Potenziale der Digitalisierung erschlossen werden sollen. Jedoch muss sichergestellt werden, dass die Nutzung von Möglichkeiten der Digitalisierung in der Rinderhaltung ökonomisch vorteilhaft, aber auch ökologisch sowie sozial tragbar ist.

Im Experimentierbereich „Assistenzsysteme“ liegt das Hauptaugenmerk auf dem Praxiseinsatz. Es wird erfasst, welche Assistenzsysteme für die Rinderhaltung derzeit auf dem Markt erhältlich sind und welche Funktionen sie dem Landwirt bieten. Im Rahmen dessen wird die genaue Funktionsweise und der daraus resultierende Nutzen bewertet. Darüber hinaus wird erhoben, welche Komponenten ein Assistenzsystem idealerweise beinhalten sollte, um die Benutzerfreundlichkeit von Assistenzsystemen zu verbessern.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen in die Praxis eingearbeitet und den Landwirten zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht unter Federführung des Experimentierbereiches „Wissenstransfer“. Unter anderem sollen Leitfäden und Empfehlungen für die Praxis erstellt werden. Außerdem sollen Fachtagungen, Workshops, Stalltage, digitale Angebote und weitere Veranstaltungen dazu durchgeführt werden.

3 Arbeitsstand

3.1 Erhebung des Status quo der Digitalisierung in der Rinderhaltung

Um die momentane Verbreitung und Nutzung von Assistenzsystemen in der Rinderhaltung zu erheben, wurde von den Verbundpartnern ein Fragebogen erstellt. Dieser beginnt mit einem allgemeinen Bereich, in dem der Betriebsspiegel zu Vergleichszwecken sowie unter anderem die Grundeinstellung zur Digitalisierung erhoben werden. In einem zweiten Teil wird erfasst, wie die Technik und Infrastruktur des Betriebes aussehen. Dabei soll festgestellt werden, ob Grundvoraussetzungen für den Einsatz von digitalen Techniken auf dem Betrieb gegeben sind und welche technische Ausstattung bereits vorliegt. Im dritten Teil des Fragebogens werden Daten hinsichtlich Automatisierung und Digitalisierung sowie der damit verbundenen Veränderungen innerhalb des Betriebes erhoben. Neben dem aktuellen Automatisierungsgrad sollen gleichzeitig die Gründe für den Einsatz digitaler Techniken erfasst werden. Dabei wird festgestellt, welche Bereiche des Betriebes bereits automatisiert sind und ob der Betrieb in Zukunft noch weitere Veränderungen hinsichtlich der Automatisierung anstrebt. Im vierten Teil werden Herausforderungen inklusive der Investitionsbereitschaft abgefragt. Die Landwirte können Probleme und Schwachstellen im Bereich der Digitalisierung nennen oder auch Arbeitsprozesse angeben, die nach ihrer Ansicht nicht digitalisiert oder automatisiert werden sollten. Im letzten Teil werden die Punkte Weiterbildung und Informationsbeschaffung thematisiert. Dabei soll erhoben werden, in welchem Maße die Landwirte Bedarf für Weiterbildungen im Bereich der Digitalisierung sehen und welche Medien sie zur Informationsbeschaffung nutzen.

Bisher haben 67 Landwirte an der Umfrage teilgenommen. Zwischenergebnisse zeigen, dass 59,7 % der Umfrageteilnehmer digitale Assistenzsysteme zur Tierüberwachung nutzen. Als Haupthindernis für den Einsatz digitaler Assistenzsysteme nennen 55,6 % der Befragten die hohen Kosten, gefolgt von der eingeschränkten Internetverbindung auf ihrem Betrieb (44,4 %). Von den Befragten stimmen 76,1 % der Aussage „Mit einem Smartphone und den geeigneten Apps geht die Arbeit leichter von der Hand“ zu. Dem gegenüber stehen 9,0 % der Befragten, die angeben, dass die Verwendung von digitalen Hilfsmitteln ihnen im Arbeitsalltag zu kompliziert sei.

3.2 Bewertung von Assistenzsystemen

Für die Validierung verschiedener Assistenzsysteme wurden erste Kontakte zu Landwirten aufgenommen. Im Rahmen der Projektlaufzeit ist geplant, mit ca. 25 Pilotbetrieben eine Kooperation einzugehen und die dort eingesetzten Assistenzsysteme zu validieren. Zusammen mit den Landwirten sollen die Stärken und Schwächen der Systeme ermittelt werden, sodass durch die Unterstützung der Landwirte auftretende Probleme schneller formuliert und in die Forschungs- und Entwicklungsarbeit integriert werden können. Um die benötigten Daten einheitlich zu erheben und einen gesamtheitlichen Überblick über die Systeme zu gewährleisten, wurde zur Prüfung ein Bewertungsrahmen erstellt, der sich in drei Säulen einteilt: Handling & Benutzerfreundlichkeit, tierbezogene Kriterien und technische Kenngrößen.

Die erste Säule beinhaltet Parameter wie Praktikabilität, Vorteile der Verfahrensgestaltung, aber auch den Einfluss auf Natur und Umwelt sowie ökonomische und sozioökonomische Bewertungsfaktoren. In der zweiten Säule werden die Fähigkeiten des Systems und der tatsächliche Nutzen für den Landwirt in Bezug auf das Tier festgestellt. Die vom Hersteller angegebenen Funktionen sollen auf Genauigkeit und Zuverlässigkeit geprüft werden. Dazu soll das im Projekt entwickelte Referenzsystem *OpenCattleHub* (s. Kap 3.3) genutzt werden. Dieses befindet sich momentan in der Implementierungsphase. Es wird im Anschluss zur Bewertung von bestehenden Systemen und neuen Entwicklungen dienen. In der dritten Säule werden technische Parameter wie Energieversorgung, die Datenverarbeitung und die allgemeine Technologie bzw. Infrastruktur rund um Hardware und Software analysiert. Die Erhebung der Daten hat bereits begonnen und der Bewertungsrahmen wurde im ersten Schritt auf drei verschiedene Systeme angewendet, weitere Systeme werden folgen.

3.3 OpenCattleHub

Um höherwertige Prozessziele, die mit ableitbaren Verhaltensweisen von Kühen, Rindern oder Kälbern verbunden sind, untersuchen zu können, bedarf es einer Referenz als „Goldstandard“. Mit *OpenCattleHub* soll ein Referenzsystem aufgebaut werden, das idealerweise den kommerziellen Assistenzsystemen in spezifischen landwirtschaftlichen und technischen Aspekten z. B. in der Genauigkeit überlegen ist. Auf dieser Basis können dann verfügbare kommerzielle Assistenzsysteme durch die Verbundpartner in *CattleHub* validiert werden.

Zur Erstellung der Plattform *OpenCattleHub* war es notwendig, im ersten Schritt bestehende und zukünftige Anwendungsfälle von Assistenzsystemen zu identifizieren und diese, soweit es möglich ist, nach Experimentierbereich zu unterscheiden. Davon ausgehend werden die technischen Anforderungen von *OpenCattleHub* an das Tracking, die Sensorik und die Vernetzung abgeleitet. Als Herausforderung hat sich dabei die Ausarbeitung der notwendigen Funktionalität in ausreichender Qualität bei begrenzter Laufzeit des

Verbundprojektes herausgestellt. Mit *OpenCattleHub* wird der Ansatz verfolgt, eine offene und modulare Plattform zu schaffen, die gleichzeitig allen zu untersuchenden Anwendungsfällen als Referenz-, Erprobungs- und Experimentierplattform dient.

3.4 Wissenstransfer

Um die Ergebnisse direkt an die Landwirte weiterzugeben, ist ein Arbeitskreis *CattleHub* entstanden, in dessen Rahmen sich interessierte Landwirte austauschen können. Zudem wird der Wissensaustausch in Berufsschulen und in der Zielgruppe der jungen Landwirte gezielt gefördert, da diese in Zukunft die Betriebe leiten werden und auf Veränderungen reagieren müssen, die auch im Bereich der Digitalisierung zu erwarten sind.

4 Fazit und Ausblick

Durch das Experimentierfeld *CattleHub* konnte bereits eine Vielzahl von Landwirten, auch durch die Projekt-Homepage (www.cattlehub.de) und Social-Media-Profile, erreicht werden. Umfragen und Betriebsbesuche ermöglichen es, einen aktuellen und vielschichtigen Einblick in den momentanen Stand der Digitalisierung in der Rinderhaltung zu erhalten. In den nächsten Monaten sollen weitere Betriebsbesuche durchgeführt werden, um mittels des Bewertungsrahmens eine Vielzahl an Assistenzsystemen zu validieren, Geschäftsprozesse genauer zu analysieren und um aus den gewonnenen Daten weitere Rückschlüsse ziehen zu können. Im Rahmen dessen soll das Referenzsystem *OpenCattleHub* eingesetzt und validiert werden, damit es als Standardverfahren im Projekt genutzt werden kann.

Workshops und Informationsveranstaltungen konnten bisher nur online durchgeführt werden. Das Angebot soll in den kommenden Monaten ausgeweitet werden, damit die neu gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis übertragen und den Landwirten zur Verfügung gestellt werden können.

Literaturverzeichnis

[Bi20] Bitkom Research GmbH, https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-04/200427_prasentationpklw_final.pdf, Stand: 06.11.2020.

[JU20] Stachowitz, J.; Umstätter, C.: Übersicht über kommerziell verfügbare digitale Systeme in der Nutztierhaltung. Agroscope Transfer 294/20, S.2-26, 2020.

[SG18] Schleicher, S.; Gandorfer, M.: Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In (A. Ruckelshausen et al. Hrsg.): Digitale Marktplätze und Plattformen, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 203-206, 2018.

Digitales Experimentierfeld Diabek

Digitalisierung anwenden, bewerten und kommunizieren

Bernhard Bauer[1], Kevin Braun[2], Peter Breunig[3], Andreas Fleischmann[4], Tobias Meyer[5], Patrick Noack[6], Muhammad Asif Saeed[7] und Rolf Wilmes[8]

Abstract: Digitale Methoden bieten vielfältige Möglichkeiten, die Wirtschaftlichkeit von landwirtschaftlichen Betrieben zu steigern, Arbeitsspitzen zu brechen und die negativen Auswirkungen der Landbewirtschaftung auf die Umwelt zu reduzieren. Die Umsetzung erfolgt vor allem auf Betrieben mit im Bundesvergleich geringer landwirtschaftlicher Nutzfläche eher schleppend. Im Projekt Diabek sollen die Ursachen für die zurückhaltende Nutzung untersucht und landwirtschaftliche Betriebe bei der Umsetzung unterstützt und beraten werden. Aus den gesammelten Erfahrungen werden Konzepte für die Fort- und Weiterbildung entwickelt. Daneben spielen die Untersuchung der Auswirkung von digitalen Methoden auf die Umwelt und der Aufbau eines Kommunikationskonzepts eine zentrale Rolle.

Keywords: Digitalisierung, Experimentierfelder, Precision Farming, Smart Farming, Fortbildung, Weiterbildung

1 Einleitung

Die Anforderungen an die Landwirtschaft nehmen in Mitteleuropa im Bereich der Ertragssicherung, des effizienten Ressourceneinsatzes und der Auswirkungen auf die Umwelt deutlich zu [TB12]. Zusätzlich müssen neben den Wirkungen des Klimawandels [Ri14] auch die gesellschaftlichen Anforderungen an die Erzeugung von Lebensmitteln berücksichtigt werden [Sp15]. Auf Betriebsebene wirken sich der Strukturwandel und der Mangel an qualifizierten Mitarbeitern erschwerend auf die Produktionsbedingungen aus [PR03].

Das Angebot an digitalen Werkzeugen und Methoden für die Optimierung der Bewirtschaftung hat in den letzten Jahren, bei einem gleichzeitigen Rückgang der notwendigen Investitionskosten, massiv zugenommen. Viele Werkzeuge sind sogar kostenlos verfügbar. Trotz der objektiv betrachtet technisch und ökonomisch deutlich

[1] Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16 ,91746 Weidenbach, bernhard.bauer@hswt.de
[2] kevin.braun@hswt.de
[3] peter.breunig@hswt.de
[4] andreas.fleischmann@hswt.de
[5] tobias.meyer@hswt.de
[6] patrick.noack@hswt.de
[7] muhammad.saeed@hswt.de
[8] rolf.wilmes@hswt.de

verbesserten Rahmenbedingungen für den Einstieg in die teilflächenspezifische Bewirtschaftung bleibt festzustellen, dass landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Gebieten (z. B. Bayern, Baden-Württemberg) bei der Nutzung digitaler Systeme Zurückhaltung zeigen [ASG12].

Das Projekt Diabek setzt an den in der Praxis vorgefundenen Bedenken hinsichtlich digitaler Werkzeuge an [Vi19] und verfolgt das Ziel, diese strukturiert zu erheben und zusammen mit Betriebsleitern Lösungsansätze für eine schrittweise Implementierung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsansätzen zu erarbeiten. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der konsequenten Nutzung vorhandener betrieblicher Ausstattung. Die konkreten Ziele sind die Identifikation und Bewertung von technischen und pflanzenbaulichen Herausforderungen seitens der Betriebsleiter sowie die gezielte Schulung zum Aufbau eigener Entscheidungs- und Handlungskompetenz.

Zusätzlich wird im Rahmen des Projektes das Potenzial digitaler Lösungen für Verbesserungen im Bereich des Umwelt- und Ressourcenschutzes untersucht. Zudem soll geprüft werden, wie digitale Systeme die aktive Kommunikation über aktuelle Entwicklungen und die gesellschaftliche Akzeptanz der Landwirtschaft steigern kann.

2 Ziele

Das Projekt Diabek verfolgt drei übergeordnete Ziele: die Entwicklung von Ansätzen zur stärkeren Verbreitung des Einsatzes digitaler Technologien auf landwirtschaftlichen Betrieben, die Bewertung digitaler Lösungen im Hinblick auf Umwelt- und Ressourcenschutz sowie Potenziale zur Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz moderner landwirtschaftlicher Anbausysteme und die Entwicklung von Ansätzen zum Wissenstransfer und kontinuierlicher Weiterbildung in der landwirtschaftlichen Praxis.

3 Aktueller Stand ausgewählter Arbeitspakete

Nachfolgend wird der aktuelle Stand einzelner Arbeitspakete näher erläutert.

3.1 Evaluierung der eingesetzten digitalen Methoden

On-Farm-Research Versuche

Die Umsetzung digitaler Lösungen fand auf 15 ausgewählten Praxisbetrieben statt. Die Betriebe wurden so ausgewählt, dass eine heterogene Auswahl in Bezug auf Alter des Betriebsleiters, Betriebsgröße, Bodengüte und Einsatz digitaler Technologien gewährleistet wurde. Die Evaluierung der eingesetzten Technologien erfolgt auf der Basis von Methoden des On-Farm-Research. In der Saison 2019/2020 wurden insgesamt sieben

Versuche zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung, sieben Versuche zur teilflächenspezifischen Aussaat von Mais und ein Versuch zur teilflächenspezifischen Grunddüngung durchgeführt.

Ökonomische Auswertung

Anhand der unten dargestellten Methode werden die durchgeführten Versuche ökonomisch bewertet. Auch soll diese Methode Landwirtinnen und Landwirten als Unterstützung für Investitionsentscheidungen in digitale Technologien dienen.

Der wirtschaftliche Wert des Einsatzes einer digitalen Technologie für einen Betrieb kann wie folgt zusammengefasst werden [Ku13]:

$$W = VDAKfL - GKT \quad (1)$$

W = wirtschaftlicher Wert, VDAKfL = Veränderung der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen, GKT = Gesamtkosten der Technologie

$$VDAKfL = VL + VDK + VAK \quad (2)$$

VL = Veränderung der Leistung, VDK = Veränderung der Direktkosten, VAK = Veränderung der Arbeitserledigungskosten

$$VL = E * VP + VE * P + VE * VP + ZE \quad (3)$$

E = regulärer Ertrag, VP = Veränderung des Produktpreises, VE = Veränderung des regulären Ertrags, P = regulärer Produktpreis, ZE = zusätzliche Einnahmen

$$GKT = vKT + fKT \quad (4)$$

GKT = Gesamtkosten, vKT = variable Kosten, fKt = fixe Kosten

$$vKT = RKT + vAKT + vLiKT \quad (5)$$

RKT = Reparatur- und Wartungskosten, vAKT = variable Arbeitserledigungskosten, vLiKT = variable Lizenzkosten

$$fKT = AT + fAKT + LKT + fLiKT + ZT \quad (6)$$

AT = Abschreibung, fAKT = fixe Arbeitserledigungskosten, LKT = Lernkosten, fLiKT = fixe Lizenzkosten, ZT = Zinsansatz

Die Berechnung des wirtschaftlichen Werts für die Nutzer einer digitalen Technologie erfolgt spezifisch für jeden Praxisbetrieb und wird auf Basis der im Versuch angebauten Kultur durchgeführt.

Im Folgenden wird die oben dargestellte Methodik beispielhaft für die Bewertung der teilflächenspezifischen Düngung mittels Applikationskarten für den Anbau von

Winterweizen erläutert (Tab. 2). Bei allen Angaben handelt es sich aktuell noch um Schätzungen, da die statistische Auswertung der Versuche noch nicht abgeschlossen ist.

	Beschreibung	*Investitions-summe, €*	*Anteil an Nutzungszeit, %*	*t/ha*	*€/t*	*€/ha*
Hektar	100 ha Weizen (System wird noch für Düngung von 50 ha Gerste und 100 ha Mais eingesetzt)					
Regulärer Ertrag				9		
Regulärer Produktpreis					160	
Veränderung Ertrag	Bessere Nährstoffverfügbarkeit			0.1		
Veränderung Produktpreis	Erhöhung des Rohproteingehalts				5	
Zusätzliche Einnahmen	Erlöse aus Datenverkauf					0
Veränderung der Leistung						59
Veränderung der Direktkosten	Reduzierter Düngemitteleinsatz					2
Veränderung der Arbeitserledigungskosten	Langsamere Fahrgeschwindigkeit					-1
Direkt- und arbeitserledigungskosten freie Leistungen						60
Reparatur- und Wartungskosten	Softwareupdates					2
Variable Arbeitserledigungs-kosten	Plausibilitätsprüfung der Applikationskarte mit weiteren Daten (z. B. Reichsbodenschätzung)					20
Variable Lizenzkosten	Lizenzkosten für Applikationskarten					3
Variable Kosten						25
Abschreibung (Zusatz zur Grundausstattung; anteilig an Nutzungszeit der Technologie)	GNSS-Empfänger	600	40%			0.2
	ISOBUS-Vorrichtung	1000	40%			0.4
	Düngerstreuer-Aufpreis für hydraulischen Antrieb	10000	40%			4
Fixe Arbeitserledigungs-kosten	Einrichtung des Systems vor jeder Saison	200	40%			0.8
Lernkosten	Teilnahmegebühren und Arbeitsaufwand für drei Seminare	840	40%			0.7
Fixe Lizenzkosten	Freischaltung Softwarebaustein	500	40%			0.4
Zinsansatz						0.2
Fixe Kosten						7
Gesamtkosten						32
Wirtschaftlicher Wert						27

Tab. 2: Beispielhafte Berechnung des wirtschaftlichen Werts der teilflächenspezifischen Düngung

LoRa-Netzwerk

Für die Datenübertragung vom Feld, aus dem Stall und aus einem Getreidelager wird im Rahmen von Diabek ein LoRa-Netzwerk aufgebaut. LoRa (Long Range) ist eine Funktechnologie, mit der geringe Datenmengen energieeffizient über große Reichweiten übertragen werden können.

Dabei sind mehrere Sensoren mit jeweils einer Messeinheit, bestehend aus einem Mikrocomputer mit einem LoRa-Funkmodul, verbunden. Die Mikrocomputer senden die Daten in regelmäßigen Abständen an ein Gateway. Das Gateway empfängt die LoRa-Signale und leitet diese über einen Internetzugang an einen Server weiter, der die Visualisierung über ein Online-Tool ermöglicht. Anwender können somit über einen Internetzugang ortsunabhängig die Messwerte einsehen.

Im Diabek-Projekt werden LoRa-Netzwerke in insgesamt sechs Projekten für landwirtschaftliche Einsatzzwecke getestet und evaluiert. Nachfolgend wird das Projekt zur Überwachung von Temperatur- und Luftfeuchtemesswerten aus dem Milchgewinnungszentrum in Triesdorf vorgestellt.

Dazu wurden an verschiedenen Stellen im Stall Messeinheiten, bestehend aus drei Temperatur- und Luftfeuchtesensoren und einem Mikrocomputer mit LoRa-Funkmodul, installiert. Das Gateway befindet sich im ca. 400 Meter entfernten Hochschulgebäude. Auf dem Server wird aus den Temperatur- und Luftfeuchtemesswerten der TH-Index (Temperature-Humidity Index) berechnet und visualisiert [Zi09]. Der TH-Index gibt an, ab wann für Kühe eine Hitzestresssituation auftritt und wie hoch das Gefährdungspotenzial für die Tiere ist. Die Stallklimadaten und der THI können in Echtzeit von den Mitarbeitern des Milchgewinnungszentrums via Smartphone oder PC abgerufen werden.

Die Hardwarekosten pro Messeinheit liegen bei ca. 60 Euro. Beim Gateway betragen die Hardwarekosten je nach Antenne zwischen 80 und 160 Euro, allerdings können damit problemlos Daten von 30 Messeinheiten empfangen werden. Da für die Datenübertragung selbst keine Kosten entstehen, können Praktiker mit fixen Materialkosten von ca. 500 Euro für ein LoRa-System, bestehend aus fünf Messeinheiten mit jeweils drei Sensoren, kalkulieren.

3.2 Entwicklung und Umsetzung von Schulungen und Workshops für Landwirte

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den On-Farm-Research-Versuchen werden in Schulungen an Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus der landwirtschaftlichen Praxis vermittelt. Diese thematisierten die Erstellung von digitalen Feldgrenzen, georeferenzierten Bodenbeprobungspfaden und Applikationskarten. Die Schulungsinhalte basieren auf der freien Geoinformationssoftware *QGIS*. Als Datengrundlage dienen die von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern mitgebrachten Informationen (z. B. Flächenantragsdaten) sowie frei zugängliche Daten. Anhand dieser Daten werden

konkrete Anwendungen für den eigenen Betrieb und die eigenen Flächen der Teilnehmer erstellt. Insgesamt konnten 2020 in zehn Schulungen 71 Personen geschult werden, von denen 23 Personen die Online-Schulungen besuchten.

4 Danksagung

Das Projekt Diabek wird aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert.

Die Autoren bedanken sich beim Ministerium für die Förderung und beim Projektträger, der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, für die tatkräftige Unterstützung bei der Bearbeitung des Antrags und der Abwicklung des Projekts.

Literaturverzeichnis

[ASG12] Aubert, B.A., Schroeder, A., Grimaudo, J.: IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. Decis. Support Syst. 54, 510–520, 2012.

[Ku13] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL): Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Fachbegriffe. Darmstadt, 2013.

[PR03] Ploeg, J.D. Van Der, Roep, D.: Multifunctionality and Rural Development : The Actual Situation in Europe, in: Multifunctional Agriculture; A New Paradigm for European Agriculture and Rural Development. pp. 1–15, 2003.

[Ri14] Riediger, J., Breckling, B., Nuske, R.S., Schröder, W.: Will climate change increase irrigation requirements in agriculture of Central Europe? A simulation study for Northern Germany. Environ. Sci. Eur. 26, 18, 2014.

[Sp15] Spiller, A., Gauly, M., Balmann, A., Bauhus, J., Birner, R., Bokelmann, W., Christen, O., Entenmann, S., Grethe, H., Knierim, U., Latacz-Lohmann, U., Martinez, J., Nieberg, H., Qaim, M., Taube, F., Tenhagen, B.-A., Weingarten, P.: Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrar. und Landwirtschaft, 2015.

[TB12] Tey, Y.S., Brindal, M.: Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. Precis. Agric, 2012.

[Vi19] Vinzent, B., Maidl, M., Münster, S.& G.M.: Überbetrieblicher Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung - Digitale Bibliothek - Gesellschaft für Informatik e.V. pp. 263–268, 2019.

[Zi09] Zimbelman, R. B., Rhoads, R. P., Collier, R. J., & Duff, G. C.: A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows, 2009.

Experimentierfeld Südwest

Förderung des branchenübergreifenden und überbetrieblichen Datenmanagements zur Unterstützung landwirtschaftlicher Wertschöpfungssysteme

Daniel Eberz-Eder[1], Maren Kraus[1], Jannis Menne[2] und Lea Wintz[3]

Abstract: Ein wesentliches Ziel des Experimentierfeldes Südwest besteht in der Förderung eines branchenübergreifenden Datenmanagements. Die dafür vorgesehene digitale Infrastruktur wird durch die GeoBox-Infrastruktur entwickelt und ermöglicht die Bereitstellung, den Austausch und die Nutzung betriebsrelevanter Daten (Geobasis-, Fach- und Wetterdaten). Gerade in Rheinland-Pfalz ist eine einheitliche digitale Infrastruktur aufgrund eines breiten Spektrums verschiedener Produktionsbereiche wichtig. Innerhalb des Living Labs des Experimentierfeldes Südwest soll der landwirtschaftlichen Praxis demonstriert werden, wie vorhandene Daten in Zusammenspiel mit vorhandener Technik über alle Stufen landwirtschaftlicher Wertschöpfungssysteme hinweg flexibel genutzt werden können. Dabei spielt die Kommunikationsinfrastruktur eine wichtige Rolle (5G – 0G). Im Rahmen des Projektes wird das Konzept einer Kommunikations- und Kontextmanagementplattform (Landscape Dataspace) für die Landwirtschaft entwickelt und experimentell erprobt. Die Datenhoheit liegt dabei in den landwirtschaftlichen Betrieben, sodass auch Lösungsansätze zur Steigerung der Datensicherheit und der Resilienz entwickelt werden. Darüber hinaus steht der Wissenstransfer zwischen den Akteuren im Mittelpunkt des Projektes, welcher auch über die Projektdauer hinaus durch die Strukturen der Agrarverwaltung und Hochschulen sichergestellt ist.

Keywords: Living Lab, Wissenstransfer, Landscape Dataspace, Resilient Smart Farming (RSF)

1 Einleitung

Insgesamt 14 Experimentierfelder werden vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Bereich der Digitalisierung in der Landwirtschaft gefördert. Das Projekt „Experimentierfeld Südwest“ soll dazu beitragen, das branchenübergreifende und überbetriebliche Datenmanagement zur Unterstützung landwirtschaftlicher Betriebe zu fördern.

[1]Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Technische Zentralstelle, Rüdesheimer Str. 60-68, 55545 Bad Kreuznach, daniel.eberz@dlr.rlp.de, maren.kraus@dlr.rlp.de
[2]Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Eifel, Agrarwirtschaft, Westpark 11, 54634 Bitburg, jannis.menne@dlr.rlp.de
[3]Technische Hochschule Bingen, Live Sciences and Engineering, Berlinstr. 109, 55411 Bingen am Rhein, l.wintz@th-bingen.de

Die rheinland-pfälzische Agrarstruktur ist durch eine vielfältige Topographie und ein breites Spektrum an Produktionsbereichen geprägt. Die aktuellen Anforderungen der Digitalisierung in der landwirtschaftlichen Praxis sind zusätzlich vielfältig und komplex. Daher ist der Bedarf nach einer standardisierten Datenhaltung über alle Stufen der landwirtschaftlichen Wertschöpfungssysteme hinweg ein wichtiger Bestandteil, um die umwelt- und ressourcenschonende überbetriebliche Bewirtschaftung zu fördern, die Nachhaltigkeit zu erhöhen und die Dokumentation zu vereinfachen. Infolgedessen ist eine Kommunikationsinfrastruktur notwendig, die möglichst alle in der Landwirtschaft eingesetzten Funktechnologien unterstützt und eine universelle Einsetzbarkeit garantiert.

Unter Berücksichtigung der Ausfallsicherheit gilt es, unterstützend durch einen AMK-Beschluss, eine dezentrale und betriebliche Datenhaltung und eine standardisierte regionale Vernetzung zu entwickeln. Die Umsetzung dieser resilienzbedingten Vorgaben zum Aufbau regionaler Strukturen für ein digitales Kontextmanagement als herstellerunabhängige Basis für ein überbetrieblich ausgerichtetes Smart Farming erfolgt durch die „GeoBox-Infrastruktur“ (GBI).

Das Experimentierfeld Südwest ist in neun Anwendungsfelder (AF) eingeteilt. Dabei beschränken sich diese nicht nur auf die Primärproduktion, sondern es werden Produktionsprozesse mit sowohl horizontalen als auch vertikalen Ansätzen des gesamten Wertschöpfungssystems pflanzlicher Lebensmittel bearbeitet.

Die Bündelung der Infrastrukturangebote und -kompetenzen in einem Living Lab zur breiten Operationalisierung digitaler Anwendungen in der rheinland-pfälzischen Landwirtschaft prägt das AF 1 als Kern-AF im EF-Südwest. Kernziel ist außerdem der Aufbau einer landesweit verfügbaren digitalen Infrastruktur zur Förderung der Präzisionsdüngung und zur umweltsensitiven überbetrieblichen Einsatzplanung der Pflanzenschutzapplikation. Im AF 2 wird ein überbetrieblich nutzbares und ressourcenschonendes Wirtschaftsdüngermanagementsystem entwickelt. Die Ertragsdokumentation, sowie die nährstoffeffiziente und optimierte Applikation von Wirtschaftsdüngern mittels digitaler Sen-sordaten unter Berücksichtigung der neusten rechtlichen Auflagen stehen dabei im Fokus. Der Transfer in den landwirtschaftlichen Betriebsalltag sowie die branchenübergreifende und überbetriebliche Integration in die regionale Landwirtschaft werden angestrebt. Die Logistikaktivitäten in der Weinwirtschaft bieten Potenzial zur Wirtschaftlichkeitssteigerung und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit. Gerade die überbetrieblichen Aktivitäten erfordern leistungsfähige Schnittstellen. Diese tragen zur Optimierung der Logistikprozesse und des Datenaustausches bei. Das Smart-Data-Management von Logistikketten im Weinbau ist Aufgabe des AF 3. AF 4 nimmt sich die elektronische Dokumentation und Verwaltung von Produktionsdaten entlang der Wertschöpfungskette von landwirtschaftlichen Produkten am Beispiel der Weinproduktion zur Aufgabe. Hierfür wird ein modulares, digitales Dokumentationssystem aufgebaut, um die Weinbetriebe bei ihren Dokumentationspflichten zu entlasten. Als Plattform wird die dezentrale HofBox, als betrieblicher Client der GeoBox, fungieren. Diese wird auch in AF 5 eingesetzt, um den Ressourceneinsatzes in der weinbaulichen Produktion zu bewerten. Ziel ist die Implementierung eines

bereits entwickelten Energieüberwachungs- und Energiemanagement-Konzepts in Wein produzierenden Betrieben. Gesamtziel des AF 6 ist die Entwicklung und Erprobung eines digitalen Begrünungsmanagements zur Optimierung der Nährstoffversorgung im Weinberg. So wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren, wie z. B. Standort, durch gezielte Begrünungsmaßnahmen der Nährstoffkreislauf im Ökosystem Weinberg weiter geschlossen und die Biodiversität gefördert. Im AF 7 wird ein digital unterstütztes mechanisches Unkrautmanagement innoviert. Das Ziel, Herbizideinsätze zu ersetzen oder zu reduzieren, wird dabei von integrierten Konzepten zur Unkrautkontrolle vorangetrieben. Die Entwicklung und Praxiseinführung digitaler Steuerungsinstrumente zur Optimierung der Arbeitseffizienz im Obstbau sind Aufgaben des AF 8. Es wird ein Managementsystem etabliert, welches eine automatisierte und differenzierte Dokumentation von realen Arbeitsleistungen und Erträgen in Echtzeit für das Controlling von Arbeitsprozessen ermöglicht. AF 9 fokussiert auf die Entwicklung digitaler Entscheidungshilfen für Imker auf Basis von Beobachtungs- und Empfehlungsdaten. In Form eines Standortpasses werden die tagesaktuellen und bundesweiten Bereitstellungen von standortspezifischen Daten für die digitale Entscheidungshilfe verwendet.

Eine besondere Anforderung der Digitalisierung und insbesondere der Nutzung bestehender digitaler Anwendungen ist die Erhöhung der Akzeptanz, die Steigerung des überbetrieblichen Nutzens digitaler Anwendungen und der allgemeinen Kompetenz der landwirtschaftlichen Betriebe im Umgang mit diesen Technologien. Daher steht im Mittelpunkt des Projektes der Wissenstransfer, sodass der konkrete Nutzen eines standardisierten Datenmanagements für die landwirtschaftliche Praxis sowie für vor- und nachgelagerte Bereiche demonstriert werden kann.

2 GeoBox-Infrastruktur

Für die Realisierung eines branchenübergreifenden Datenmanagements in der Agrarwirtschaft sind standardisierte bzw. einheitliche Datenstrukturen in den einzelnen Produktionsbereichen umzusetzen. Zur Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft muss die Verbreitung von Spezifikationen und Standards für eine branchenübergreifende und überbetriebliche Datenkommunikation höchste Priorität bekommen. Die geforderte Vereinheitlichung und Standardisierung von Vokabularien und Datenaustauschprozessen werden im Rahmen des BMEL-Projektes „GeoBox-I“ vorangetrieben. Dabei setzen die GeoBox-I-Projektpartner darauf, dass zukünftig in allen Betrieben standardisierte Dokumente (z. B. Feldpass und Standortpass) vorliegen, um den Landwirten einen effizienteren Wissenstransfer durch schlagspezifische Prognosemodelle oder KI-Chatbots anbieten zu können. Im Experimentierfeld Südwest soll auf Grundlage der GBI, welche auf einer hybriden Cloud-Architektur mit wichtigen Open-Source Komponenten basiert, und des digitalen Agrarportals Rheinland-Pfalz die digitale Infrastruktur in die Praxis transferiert und durch die produktionsspezifischen Besonderheiten der Partner des Living Labs weiterentwickelt werden.

3 Wissenstransfer

Das Experimentierfeld Südwest zeichnet sich vor allem durch einen weitreichenden Wissenstransfer aus. Dies wird durch die Struktur des Projektes bestärkt. Das Konsortium besteht aus Dienstleistungszentren Ländlicher Raum in Rheinland-Pfalz (DLR), welche alle durch die zugehörigen Berufs- und Fachschulen einen direkten Bezug zu Praktikern aufweisen. Zusätzlich dienen die Technische Universität Kaiserslautern (TUK), die Technische Hochschule Bingen (TH Bingen) und die RLP AgroScience GmbH (AgroScience) als Partner, um Neues zu erforschen und fundiertes Wissen in die Praxis weiterzugeben und anzuwenden. Letztlich ist die Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung Hofgut Neumühle (LVAV) ein wichtiger Konsortialpartner, welcher Versuche in der landwirtschaftlichen Praxis ermöglicht und gewonnenes Wissen als sogenannte Open-Data-Farm in die Praxis übertragen kann. Das Hofgut Neumühle der LVAV liegt in der vom Bund beschlossenen 5G-Modellregion Kaiserslautern und bietet damit Technologiepartnern hervorragende Voraussetzungen, um Best-Practice-Beispiele aufzubauen und zu präsentieren. In dem Experimentierfeld Südwest werden somit umfassende interdisziplinäre Kompetenzen und Ressourcen im Bereich der Forschung und des Versuchswesens gebündelt, um praxisfähige Lösungen zu entwickeln und zu erproben. Durch das gesamte Konsortium wird über die Dauer der Förderung hinaus ein Wissenstransfer sichergestellt.

Zusätzlich bietet ein in das Projekt integriertes Living Lab die Möglichkeit, in einem experimentellen Umfeld die digitale Infrastruktur in den unterschiedlichen Anwendungsfällen zu erproben. Dabei kommen die Akteure aus der Praxis und Wissenschaft dort zusammen, um auf der Basis einer gemeinsamen digitalen Infrastruktur, aber zu durchaus unterschiedlichen agrarwirtschaftlichen Problemen, praktikable Lösungen zu erarbeiten und auszuprobieren. Die Erkenntnisse aus der Entwicklung der digitalen Infrastruktur und die darauf aufbauenden Anwendungen werden durch die Form eines Living Labs zielgerichtet und dynamisch in die regionale Praxis transferiert.

Die Förderrichtlinie des BMEL zu den Experimentierfeldern fordert ein vernetztes Agieren hinsichtlich der Entwicklung, Erprobung und des Praxistransfers von digitalen Infrastrukturen und deren Anwendungen. Innerhalb des Experimentierfeldes Südwest besteht großes Interesse, mit weiteren Experimentierfeldern zu kooperieren und den Wissenstransfer gemeinsam und nachhaltig auszubauen. Eine enge Zusammenarbeit besteht bereits mit dem Experimentierfeld Betriebsleitung und Stoffstrommanagement – Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein (BeSt-SH). Das gemeinsame Ziel ist es, fundiertes Wissen frei zugänglich zur Verfügung zu stellen. Dazu gibt es die Bestrebung nach einer gemeinsamen Plattform zum Austausch im Wissenstransfer.

Eine Herausforderung ist es, aus den Fragestellungen der Praxis die Möglichkeiten zur Digitalisierung und den daraus resultierenden Nutzen für jeden landwirtschaftlichen Bereich herauszustellen. Dazu müssen zu Anfang alle landwirtschaftlichen Bereiche definiert werden. Im Experimentierfeld betrifft das den Pflanzen-, Obst-, Gemüse-, Weinbau und

die Imkerei. Durch BeSt-SH werden zusätzlich die Rinderhaltung und allgemeine Bereiche, wie z. B. die Buchführung, abgedeckt. Diese landwirtschaftlichen Bereiche kann man zudem in die einzelnen Betriebssegmente aufteilen, sodass sich z. B. für den Pflanzenbau Betriebssegmente wie Aussaat, Düngung etc. ergeben. Um die Struktur noch näher zu definieren, wird innerhalb dieser Betriebssegmente noch einmal zwischen bestimmten Teil-Segmenten unterschieden. Die Teil-Segmente sind in „Prozess & Dokumentation“, „Begleitinformationen“, „Entscheidungsunterstützung“ und „Gesetzliche Rahmenbedingungen“ gegliedert, können aber je nach Produktionsbereich spezifiziert werden.

Der aktuelle Stand der Digitalisierung in der Landwirtschaft ist je Betrieb sehr heterogen ausgeprägt. Um die Landwirte zielgerecht auf ihrem Stand der Digitalisierung abzuholen und ihnen explizit die Möglichkeiten zur digitalen Entwicklung aufzuzeigen, müssen Digitalisierungsstufen definiert werden. Daher werden je Teil-Segment jedes Betriebssegmentes drei Digitalisierungsstufen benannt. Aus diesen Digitalisierungsstufen werden Technik- und Datenanforderungen abgeleitet und eine Anwendungsebene vorgeschlagen. Die Anwendungsebene wird innerhalb des Experimentierfeldes Südwest durch die Geo-Box-Anwendungen gebildet. Daraus entsteht eine Matrix, die durch unterschiedliche Betrachtungsmöglichkeiten spezifisch gefiltert werden kann, wie z. B. der pflanzenbaulichen Sicht, Technik- oder Datenübersicht. Um diese Struktur mit fundiertem Wissen zu hinterlegen, werden zu den Teil-Segmenten und Digitalisierungsstufen Wissenstransfer-Materialien konzipiert, welche frei zur Verfügung stehen. Ziel ist es, akkumuliertes Wissen in Form von Online-Kursen, Schulungen und virtuellen Lerninhalten anzubieten.

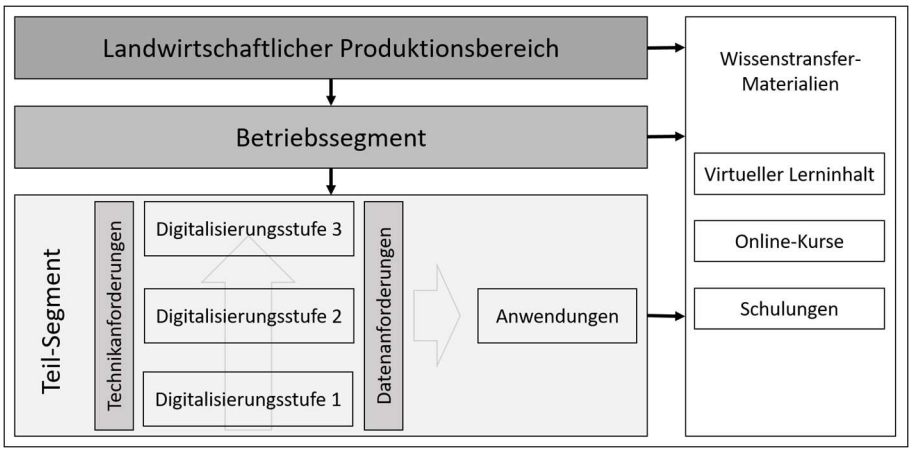


Abb. 1: Einheitliche Wissenstransfer-Plattform

Ein naher Bezug zur Praxis wird zusätzlich zu den Konsortialpartnern durch Expertenkreise gesichert. Innerhalb der Expertenkreise mit BeSt-SH kann die Wissenstransfer-Struktur diskutiert und ausgebaut werden. Des Weiteren dienen die Betriebsnetzwerke der Experimentierfelder zur Erprobung und Diskussion der Struktur in der Praxis. Das Coaching-Programm soll so aufgebaut werden, dass auch die Betriebe, die ggf. nur einzelne digitale Lösungen nutzen möchten, individuell unterstützt werden können. Analysen

der Erkenntnisse aus dem Coaching-Prozess dienen der Identifikation von Hindernissen der Wissenstransfer-Struktur und digitaler Systemlösungen.

4 Erfolgsaussichten

Die umfassende Struktur des Experimentierfeldes Südwest berücksichtigt neben den individuellen Interessen aller beteiligten Partner insbesondere die Zielsetzung eines nachhaltigen Transfers der digitalen Infrastruktur über die Produktionsbereiche hinweg. Zusätzlich werden Wissenstransfer und Coaching in der Praxis, der Aufbau eines Datenraums für das Kontextmanagement (Landscape Dataspace) und der regelmäßige Austausch bezüglich der Weiterentwicklung der IT-Infrastruktur im sogenannten Living Lab als Ziel angesetzt. Durch die klare Struktur des Living Labs und die Aufgaben der Konsortialpartner kann sichergestellt werden, dass eine nachhaltige Etablierung der digitalen Infrastruktur sowie des Wissenstransfers und Coachings gegeben ist.

Das Projekt erforscht die Digitalisierungsmöglichkeiten und -potenziale, die in den branchenübergreifenden und überbetrieblichen Produktionsbereichen von der Aussaat bis hin zur Verarbeitung möglich sind. Es wird ein Beitrag zur Effizienzsteigerung sowie zur Steigerung der Nachhaltigkeit geleistet. Betriebsübergreifendes Management wird mit Hilfe digitaler Lösungen vereinfacht. Damit werden auch die bereits im Aufbau befindlichen Systeme (z. B. GeoBox) einer weiteren Nutzung zugeführt: In der Folge steigt das Interesse, die Akzeptanz und die Verstetigung dieser investitionsintensiven Infrastruktur – die Daten werden „lebendig“.

Mit den Forschungsergebnissen wird die Transformation in der Branche ermöglicht, indem bisherige Hemmnisse abgebaut werden:

- Die Ergebnisse sichern einen breiten Wissenstransfer in der Praxis: Lieferung von „Best Practices“ und Handlungsempfehlungen
- Sicherstellung von Softwarelösungsansätzen und Prototypen
- Validierte Basis für Abschätzung von Einsparpotenzialen.

Durch die offene Kooperation mit weiteren Experimentierfeldern wird zusätzlich länderübergreifend eine einheitliche Wissenstransfer-Struktur geschaffen, sodass der Praxis eine zielgerichtete und effiziente Unterstützung innerhalb der Transformation angeboten werden kann.

Mobilfunk-Campusnetze für die Landwirtschaft

Dezentrale intelligente Vernetzungssysteme

Norman Franchi[1], Thomas Welsch[1], Benjamin Striller[2], Frank Heisig[3], Gerhard Fettweis[1]

Abstract: Drahtlose Kommunikation für die Landwirtschaft sowie 5G und Campusnetze sind in aller Munde. Der vorliegende Beitrag setzt sich mit der Bedeutung und der Nutzbarmachung von 5G und Campusnetzen für die Landwirtschaft, wie auch mit den dabei zu beachtenden wesentlichen regulatorischen und technischen Aspekten, Zusammenhängen und Fragestellungen auseinander. Dabei werden 5G-Anwendungen und Campusnetz-Lösungsansätze, die im Rahmen des Experimentierfelds LANDNETZ entwickelt werden, sowie die bei der Realisierung des ersten landwirtschaftlichen 5G-Campusnetzes in Deutschland im Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch gewonnenen Erkenntnisse und Handlungsbedarfe erläutert.

Keywords: Drahtlose Kommunikation, 5G, Campusnetze, Cloudnetze, Local Edge Cloud

1 Bedeutung von Mobilfunk und 5G für die Landwirtschaft

Die mobile breitbandige und echtzeitfähige Vernetzung mit Hilfe von neuen Kommunikations- und Clouddiensten ist ein maßgeblicher Treiber der Digitalisierung in der Landwirtschaft [Fr18, Fe18]. Dieser Treiber kann seine volle Wirkung zur Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse und Produkte jedoch erst dann entfalten, wenn er flächendeckend, durchgängig und zuverlässig für landwirtschaftliche Nutzer zur Verfügung steht. Allerdings ist genau dies aktuell in Deutschland, aber auch in anderen EU-Staaten, die Kernherausforderung, weil breitbandige Zugänge zu den öffentlichen Mobilfunknetzen nationaler Netzbetreiber bis dato vorwiegend in Ballungsräumen bereitgestellt werden, wohingegen in ländlichen und landwirtschaftlich genutzten Räumen meist nur eine Mobilfunkabdeckung mit schmalbandigen Netzzugängen oder teilweise gar keine Mobilfunkversorgung vorhanden ist. Mit den Glasfaser-Ausbaustrategien des Bundes und der Länder werden die Anbindungs- und Versorgungsmöglichkeiten zwar schrittweise verbessert, jedoch adressiert diese Strategie in erster Linie Haushalte und nicht die mobile Versorgung in der Fläche. Eine signifikante Verbesserung dieser Situation mit Blick auf die nächsten Jahre ist aktuell nicht abzusehen.

[1] Technische Universität Dresden, Institut für Nachrichtentechnik, Vodafone Stiftungsprofessur Mobile Nachrichtensysteme, 01069 Dresden, norman.franchi@tu-dresden.de, thomas.welsch@tu-dresden.de, gerhard.fettweis@tu-dresden.de
[2] Technische Universität Dresden, Institut für Naturstofftechnik, Professur für Agrarsystemtechnik, 01069 Dresden, benjamin.striller@tu-dresden.de
[3] Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie, Pillnitzer Platz. 3, 01326 Dresden, frank.heisig@smul.sachsen.de

Um die Landwirtschaftsbranche auf dem Weg zur Digitalisierung dadurch nicht auszubremsen, benötigt es neue Ansätze, um die Landwirtschaft auch unabhängig von Ausbaustrategien öffentlicher Mobilfunkbetreiber für die Nutzung mobiler, breitbandiger und echtzeitfähiger Kommunikations- und Cloudnetze zu befähigen. Die Konzeption von Mobilfunk-Campusnetzen (MCN) und deren Nutzbarmachung für die Landwirtschaft ist solch ein neuer Ansatz. Mit Hilfe von MCN können erstmals eigenständige, dezentrale intelligente Vernetzungssysteme mit integrierten Clouds und eigenem Frequenzspektrum realisiert werden, die direkt vor Ort in einem Landwirtschaftsbetrieb oder Betriebsverbund mit zusammenhängenden Flächen (ähnlich einem Gewerbegebiet) aufgebaut und genutzt werden können. Das Konzept von MCN ist ursprünglich im Kontext von Industrie 4.0 entstanden, um für die Industrieanwenderbranchen von Fertigungs- und Prozessautomatisierung sichere und zuverlässige Kommunikationslösungen zu schaffen, die auch unabhängig von öffentlichen Mobilfunknetzen realisierbar und betreibbar sind [IR20].

2 5G-Anwendungen für die Landwirtschaft

Zahlreiche digitale landwirtschaftliche Anwendungen fußen bereits heute in hohem Maße auf mobiler Vernetzung, angefangen bei der Übertragung von Korrektursignalen für die Satellitennavigation bis hin zu Telemetrie und Fernwartung. Dabei stellen diese Anwendungen unterschiedlichste Anforderungen an Datenraten, Latenzzeiten sowie zeitliche und räumliche Verfügbarkeit. Im Folgenden wird eine kompakte Übersicht zu Anwendungen in LANDNETZ gegeben, die zum einen erst mit Einführung von 5G (unabhängig von der Nutzung öffentlicher Mobilfunknetze oder privater Campusnetze) und zum anderen erst durch die Verfügbarkeit von 5G-Campusnetzen ermöglicht werden.

Allgemeine 5G-Anwendungen: Prädestiniert ist 5G für die Teleoperation und Fernüberwachung von (teil)autonomen Maschinen oder Drohnen mit der Echtzeitübertragung von Bilddaten und Steuerungssignalen. Ähnlich hohe und zeitgleiche Anforderungen an Latenz und Datenrate ergeben sich für Augmented- und Mixed-Reality-Anwendungen bspw. im Remote-Service. 5G-Datenraten sind zudem bei der Cloud-basierten Bildverarbeitung in Echtzeit für bspw. eine teilflächenspezifische Beikrautregulierung erforderlich.

5G-Campusnetz-Anwendungen: Besondere Relevanz haben landwirtschaftliche 5G-Campusnetze zum einen für Anwendungsfälle, deren Bedarf an eine breitbandige lokale Funkvernetzung hoch ist. Zum anderen können landwirtschaftliche MCN ihre Vorteile durch kurze Übertragungswege und lokale Datenverarbeitung in lokalen Cloudstrukturen insbesondere bei Anwendungen mit zeitoptimierter Datenübertragung und -verarbeitung ausspielen, für die eine Internetbindung nachrangig ist.

Teilflächenspezifische Maßnahmen mittels Applikationskarten, wie Pflanzenschutz und Düngung, sind landwirtschaftstypisch stark witterungsabhängig. Daraus ergibt sich der Wunsch nach einem minimierten Zeitfenster für die Erstellung der Applikationskarte bis zur Applikation. Neben dem Sensoreinsatz direkt auf der Maschine während des

Pflanzenschutz- oder Düngeeinsatzes sind vorhergehende Drohnenbefliegungen mit RGB- und Multispektralkameras zur hochaufgelösten und vollständigen Erfassung des Pflanzenzustandes und der Biomasse anzutreffen. Hierbei können zwischen Drohneneinsatz und Vorliegen der Applikationskarte jedoch ein bis zwei Tage vergehen. Der Bilddaten-Transfer von Drohne zu Datenverarbeitung erfolgt oft ebenso manuell wie die Übertragung der Applikationskarte an die Ausbringtechnik per USB-Stick oder Funkkommunikation. Der Aufwand dieses absätzigen Verfahrens kann dessen Einsatz hemmen. Ein Optimierungsansatz wurde bereits in den Niederlanden durch Bildübertragung von der Drohne mit Datenraten von 120 Mbit/s in einem experimentellen Netzwerk demonstriert [Ew18]. In LANDNETZ wird dieser Ansatz zu einem „durchgängigen Prozessablauf in Echtzeit“ weiterentwickelt und erprobt. Der Drohnenflug erfolgt mit geringem Vorlauf parallel zur Applikation auf dem Feld, so dass bereits kurze Zeit nach dem Drohnenstart mit der Düngung oder der Pflanzenschutzanwendung begonnen werden kann. Die erforderlichen Bilddaten werden von der Drohne direkt an die lokale Cloud des MCN gestreamt, wo die Applikationskartenerstellung in Echtzeit erfolgt. Die Applikationsdaten werden dann über 5G verzögerungsfrei an das Terminal der Applikationstechnik übertragen. Ein User Interface erlaubt den Zugriff auf die Cloud und die dortige Kartenerstellung, um das Ergebnis validieren und bei Bedarf eingreifen zu können.

3 Lösungsansätze für Mobilfunk-Campusnetze

Im Rahmen von LANDNETZ werden erstmals Mobilfunk-Campusnetze für landwirtschaftliche Anwendungen und Einsatzumgebungen konzipiert, entwickelt und begleitet von wissenschaftlichen Untersuchungen erprobt. Mit 5G können erstmalig virtualisierte, eingebettete oder eigenständige Campusnetze realisiert werden [IR20]. Die ersten beiden Varianten sind in [IR20] erläutert und erfordern die Verfügbarkeit eines öffentlichen 5G-Netzes sowie der Kooperation mit einem öffentlichen Netzbetreiber. Die Variante eines eigenständigen 5G-Campusnetzes kann unabhängig von öffentlichen 5G-Netzen aufgebaut und betrieben werden. Dieser Beitrag konzentriert sich auf eigenständige dezentrale Campusnetze, da diese unabhängig von etwaigen Ausbauzielen öffentlicher Netzbetreiber betrachtet und untersucht werden können. Dabei werden zwei bauliche Ausprägungsformen unterschieden: zum einen Mobilfunk-Campusnetzanlagen mit festem Standort und zum anderen mobile, d. h. ortsveränderliche, Campusnetzanlagen.

Standortfeste Landwirtschafts-Campusnetze werden im Grunde genommen wie normale Mobilfunkstandorte geplant und in Berücksichtigung mitnutzbarer Infrastruktur mit geeigneter Höhe, bspw. als kompakte Dachkonstruktionen auf Gebäuden (wie im LVG Köllitsch), an Häuserwänden, Schornsteinen, Laternen oder auch Windkraftanlagen installiert. Dabei werden die Einstellungen für die Antennenausrichtung, ggf. MIMO-Beamforming-Konstellationen und Sendeleistungen entsprechend der gewünschten Netzabdeckung konfiguriert. Falls keine Infrastruktur mit geeigneter Höhe für Installationszwecke zur Verfügung steht, können ebenfalls Mobilfunkmasten mit Höhen

bis zu 70 m (und entsprechendem Fundament) errichtet werden. Der grundlegende Unterschied zu öffentlichen Mobilfunknetzen besteht darin, dass alle für ein Mobilfunknetz relevanten Komponenten und Funktionen in einer kompakten und in ihrem Leistungsumfang an die zu steuernden Funkzugangsknotenpunkte angepassten Form lokal aufgebaut werden. Bei 5G handelt es sich dabei um sog. 5G New Radio (NR) Stand-Alone (SA) Netzwerktechnik, bei der lokal neben dem Funkzugangsnetzwerk (RAN: Radio Access Network) ebenfalls das Kernnetzwerk (Core Network), welches das komplette Netzwerk und den Datenfluss steuert, integriert wird. Um Anwendungen mit niedrigen Ende-zu-Ende-Latenzen zu realisieren und/oder eine Unabhängigkeit von Internetdiensten zu erreichen, können zudem lokale Applikationsrechnereinheiten (auf denen die Daten prozessiert bzw. Apps ausgeführt werden) in das Netzwerk integriert werden. Die Kombination aus Kernnetzwerk und Applikationsserver(n) bezeichnen wir als ***Local Edge Cloud*** (LEC). Die Netzdimensionierung, bspw. die Anzahl verteilter Antennenstandorte, und die Netzabdeckung sind allein durch die Grundstücksgrenzen und Anwendungsanforderungen limitiert. Am LVG Köllitsch wurde im Dezember 2020 Deutschlands erstes standortfestes 5G MCN für einen landwirtschaftlichen Betrieb in Betrieb genommen und in diesem Zuge auch erstmals ein Antrag bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) zur Nutzung sog. „lokaler 5G-Frequenzen“ für die Landwirtschaft gestellt.

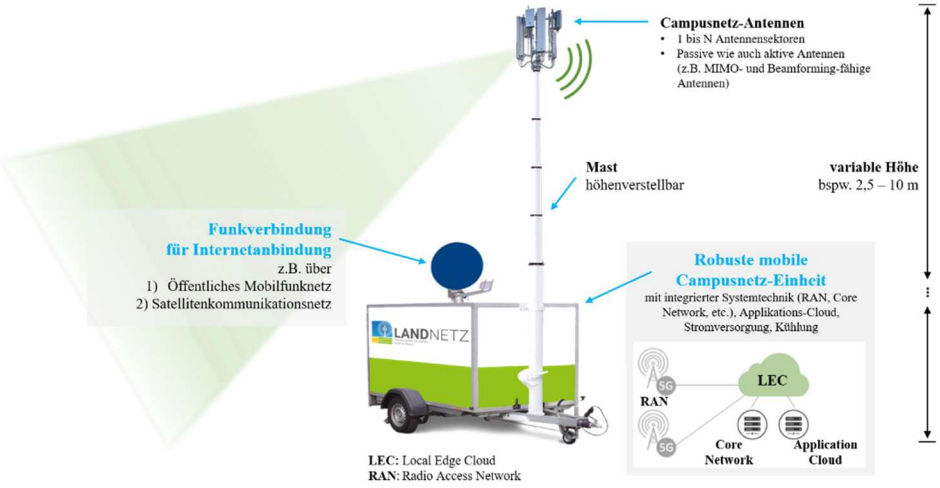


Abb. 1: Konzeptdarstellung eines mobilen Landwirtschafts-Campusnetzes in LANDNETZ

Mobile Landwirtschafts-Campusnetze beinhalten die gleiche Systemtechnik wie standortfeste Campusnetze, allerdings i. d. R. ohne verteilte Antennen, dafür integriert in einen kompakten mobilen Aufbau mit robuster und energieautarker Auslegung sowie höhenverstellbarem Mast und variabler Antennenausrichtung. Dieser MCN-Typ entspricht quasi einer Network-In-A-Box-Lösung mit eigenständigem Mobilfunknetz inkl. Edge-Cloud und – falls gewünscht – separater Internetanbindungslösung. Abb. 1 zeigt schematisch das in LANDNETZ entwickelte Konzept eines mobilen MCN. 5G bietet

zudem auch Ad-hoc-Netzwerk-Funktionen, die für den Einsatz von mobilfunkbasierter Maschine-zu-Maschine (M2M) Kommunikation geeignet sind. In Kombination mit mobilen MCN ermöglichen sich dem Anwender im landwirtschaftlichen Bereich damit weitere Optionen zur temporären orts- und bedarfserforderlichen Nutzung, auch für Mesh-Netze. Auch im LVG Köllitsch wird zu diesem Zweck ein mobiles MCN geschaffen.

3.1 Bestimmungen bzgl. Campusnetz-Frequenzbeantragung/-nutzung

Um im Frequenzband 3,7 – 3,8 GHz senden zu dürfen, muss bei der BNetzA ein Antrag zur Frequenznutzung gestellt werden [BN21]. Dies ist seit 21.11.2019 möglich. Der Antragsteller muss nach Rechtezuteilung innerhalb eines Jahres den Nachweis auf Nutzung erbringen. Das Verfahren wurde ursprünglich für industrielle MCN entwickelt. Die Grundstücke sind dabei i. d. R. in sich zusammenhängend (d. h. nicht fragmentiert) und kompakt, wobei das Flächenpolygon üblicherweise mit wenigen Eckpunkten beschreibbar ist. Der Antrag erlaubt daher bisher nur eine maximale Anzahl von 31 Polygon-Eckpunkten. Entscheidender Bestandteil des Antrags ist die Darlegung des Frequenznutzungskonzepts, welches den erforderlichen Frequenzbedarf inhaltlich begründet. Die BNetzA zielt dabei auf eine berechtigte und effiziente Nutzung der beantragten Frequenzen ab. Der Frequenzbedarf ist plausibel und in geeigneter Detailtiefe darzulegen. Wichtig sind die Erläuterung der geplanten Frequenznutzung sowie die Begründung des Bandbreitenbedarfs. Eine detaillierte Darlegung von Nutzungsanwendungen, Datenratenanforderungen, geschätzten Teilnehmerzahlen, Signalpegeln, Zeitplan, Versorgungsgebiet und die Benennung der versorgten Flächen unterstützt dies.

3.2 Bisherige Hürden bei der Beantragung und Nutzung für die Landwirtschaft

Obwohl seitens der Politik, Verbände und Industrie die Nutzung der Campusnetz-Frequenzen auch für die Landwirtschaft gewollt und unterstützt wird [BW20, VD20], gibt es seitens der Beantragung und praktikablen Nutzbarmachung der Frequenzen noch Hürden, die regulatorisch korrigiert werden müssen. Diese sind im Folgenden (anhand der gewonnenen Erkenntnisse in LANDNETZ und Köllitsch) aufgeführt (Hürden H1 – H3):

H1: Kleinteilige, nicht arrondierte landwirtschaftsbetriebliche Flächenstrukturen: In der Landwirtschaft wird ein MCN rein für direkt zusammenhängende Grundstücke eher die Ausnahme sein. Oftmals liegen zwischen Einzelflächen eines Betriebes auch Grundstücke anderer Betriebe und/oder Privathaushalte. Das heißt, im Allg. handelt es sich nicht um eine geschlossene, kompakte Fläche, sondern um fragmentiert und teilweise weit auseinanderliegende Nutzflächen. Damit ergibt sich schon bei der Beantragung nach derzeitigem Stand das Problem der Darstellung durch ein Polygon mit 31 Eckpunkten. Zudem ist aktuell pro Antrag nur die Angabe eines Polygons möglich, d.h. für abgesetzte Teilflächen müssten aufwändig jeweils separate Anträge gestellt werden.

H2: Einbeziehung fremder Grundstücke: Aus H1 ergibt sich oft zwangsläufig, dass fremde Grundstücke in den Versorgungsbereich des geplanten Campusnetzes geraten, wie

z. B. in Köllitsch, wo der Ortskern inmitten der umschließenden Nutzflächen des LVG liegt. Die Fremdgrundstücke in solch einem Fall in Bezug auf die Mobilfunkausleuchtung „auszublenden“ ist selbst bei einem Campusnetz mit fixen Antennenstandorten planungs- und installationstechnisch so aufwändig, dass es wirtschaftlich nicht zu realisieren ist. Alternativ bestünde die Möglichkeit, die Zustimmung der Eigentümer einzuholen, was jedoch ebenfalls aus verschiedenen Gründen (z. B. Funkkritiker, Konkurrenzbetrieb, etc.) zu einer unüberwindbaren Hürde werden kann. Die notwendige Zustimmung von Eigentümern fremder Grundstücke im Versorgungsbereich ist eine inhärente Problemlage des Antragsverfahrens, die es zwingend zu lösen gilt.

H3: Punktuelle, temporäre, mobile Nutzung: Das aktuelle Antragsverfahren bildet die Möglichkeit dieser Funknetznutzung leider noch nicht ab. Für Voruntersuchungen sollen daher in LANDNETZ zunächst Kurzzeitlizenzen zum Einsatz kommen. Für den späteren allgemeingültigen Produktiveinsatz ist dieses Vorgehen jedoch nicht sinnvoll und in der Praxis kaum handhabbar. In LANDNETZ wird daher ein Modell anvisiert, bei dem eine temporäre, punktuelle Nutzung mit mobilen MCN für ein definiertes Nutzungsareal pauschal mit einem wirtschaftlich sinnvollen Aufwand genehmigt werden kann. Zudem ist auch in diesem Fall H2 zu lösen.

Danksagung: Das Projekt *Experimentierfeld LANDNETZ* wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert und auf Länderebene durch die beiden Sächsischen Staatsministerien für Regionalentwicklung (SMR) und Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) maßgeblich unterstützt.

Literaturverzeichnis

[BW20] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen“, April 2020.

[BN21] Bundesnetzagentur (BNetzA): Regionale und lokale Netze, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html, Stand 10.01.202.

[Fr18] Franchi, N.: 5G als Booster der Landwirtschaft, Magazin Technik in Bayern (TiB), Ausgabe 05/2016.

[Fe18] Fettweis, G.; Franchi, N.: Das Netz der Netze – Und seine Bedeutung für die Digitale Landwirtschaft, 27. Hülsenberger Gespräche 2018 – Landwirtschaft und Digitalisierung, Juni 2018.

[IR20] Industrial Radio Lab Germany: Merkblatt 5G Campus-Netze, September 2020.

[VD20] VDMA e.V.: 5G im Maschinen- und Anlagenbau – Leitfaden für die Integration von 5G in Produkt und Produktion, April 2020.

[Wi18] Wientjes, E.: 5G Fieldlab makes precision farming more practical. Future Farming, 9.10.2018, https://www.futurefarming.com/Tools-data/Articles/2018/10/Precision-farming-ever-more-practical-for-farmers-343949E/, Stand 08.10.2019.

Anwendungen innerhalb digitaler Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft (DiWenkLa)

Hans W. Griepentrog [1], Enno Bahrs[2], Markus Frank[3], Uta Dickhöfer[4] und Dirk Winter[5]

Abstract: Die Metropolregion Stuttgart und der Südschwarzwald erscheinen als geeignetes repräsentatives Experimentierfeld für andere vergleichbare Metropol- und Mittelgebirgsregionen für skalenunabhängige, neue, stärker ökologisierte, Tierwohl-orientierte und digitalisierte Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungsketten landwirtschaftlicher Produkte und Dienstleistungen. Als Zielprodukte zählen zum Experimentierfeld BW das Feldgemüse und sonstige Ackerkulturen, aber auch die Pferdehaltung in der Metropolregion Stuttgart sowie die Grünlandproduktion mit Rinderhaltung im Südschwarzwald. Der Nutzen von digital gestützten Systemen besteht in diesen Bodenproduktionen wie auch in diesen Tierhaltungen darin, die Betriebsabläufe zu systematisieren und zu optimieren und eine arbeitswirtschaftliche Entlastung der Betriebsleitung zu generieren.

Keywords: Digitales Experimentierfeld, Betriebsgrößenstruktur, Randgebiete, Metropolregionen

1 Einleitung

Im Projekt DiWenkLa wird erforscht, wie digitale Technologien es auch Landwirten in Kleinstrukturen ermöglichen, mit geringen Kosten einen wertschöpfungssteigernden und selbstbestimmten sowie sicheren Zugang zur Verarbeitung, zum Handel und zum Endkonsumenten zu erhalten. Als Zielprodukte zählen zum Experimentierfeld BW das Feldgemüse und sonstige Ackerkulturen in der Metropolregion Stuttgart, in der auch die Pensionspferdehaltung mit zunehmenden Digitalisierungsoptionen adressiert wird. Dagegen steht im Südschwarzwald die Rinderhaltung mit der Grünlandbewirtschaftung im Vordergrund.

[1] Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart, hw.griepentrog@uni-hohenheim.de, https://orcid.org/0000-0002-2884-055X
[2] Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Schwerzstraße 44, 70599 Stuttgart, bahrs@uni-hohenheim.de
[3] HfWU Nürtingen, Fachgebiet Pflanzengesundheitsmanagement, Marktstr. 16, 72622 Nürtingen, Markus.Frank@hfwu.de
[4] Universität Hohenheim, Institut für Tropische Agrarwissenschaften, Garbenstr. 13, 70599 Stuttgart, uta.dickhoefer@uni-hohenheim.de
[5] HfWU Nürtingen, Fachgebiet (Studiengang) Pferdewirtschaft, Neckarsteige 6-10, 72622 Nürtingen, dirk.winter@hfwu.de

2 Experimentiereinheiten Ackerland und Pferdehaltung sowie Grünland und Rinderhaltung

2.1 Ackerland mit Gemüse und Getreide (Metropolregion)

Die Metropolregion Stuttgart mit der Filderebene ist durch einen hohen Anteil an Sonderkulturen geprägt, wo verstärkt Eissalat und Spitzkohl konventionell und ökologisch in intensiven Verfahren angebaut werden. Diese Produkte zeichnen sich durch eine vergleichsweise hohe Arbeitsintensität je Hektar aus, die ein hohes Potenzial bieten, Arbeitskraft durch Kapital zu ersetzen. Darüber hinaus sind diese Produkte mit hohen Anforderungsprofilen an Frische und zügigen Vermarktungsnotwendigkeiten verbunden, bei denen eine noch bessere Logistik Spielräume für digitale Weiterentwicklungen bietet. Weiterhin ist ein vergleichsweiser hoher Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln für diese Sonderkulturen kennzeichnend, den es, auch im Sinne einer zukünftigen Ackerbau- bzw. Insektenschutzstrategie, zu reduzieren gilt. Sonderkulturen stehen jedoch in Fruchtfolgen mit Getreide oder zukünftig zunehmend auch Soja. Speziell für diese Kulturen sind standortangepasste N-Düngungen, Ertrags- und Qualitätsabschätzung auf heterogenen Kleinstschlägen erstrebenswert.

2.1.1 Kurzbeschreibung einzelner Teilprojekte mit Zielsetzungen

Teilprojekt sensorgesteuertes Hacken und Striegeln: Da heute stetig weniger chemische Möglichkeiten der Unkrautbekämpfung im Gemüsebau zur Verfügung stehen und insgesamt ihr verringerter Einsatz gewünscht ist, werden vermehrt physikalische Maßnahmen als Alternative genutzt. Maschinelles Hacken in Gemüsekulturen kann Wurzelbeschädigungen verursachen, was Gemüseanbauer dazu veranlasst, regelmäßig Unkräuter per Hand jäten oder hacken zu lassen, was aber hohe Arbeitserledigungskosten verursacht. Somit ergeben sich als Projekthauptziele die Entwicklung schneller und präziser kameragesteuerter Steuer- und Regelungstechniken für das Hacken und Striegeln im Vor- und Nachauflauf von Gemüsekulturen mit geeigneten Expertensystemen.

Teilprojekt Cloud-basiertes Monitoringsystem für Pflanzenkrankheiten mit Drohnenunterstützung: Mit semi-automatisch aufgenommenen Hyperspektraldaten werden Befallskarten für die Felder mit Gemüseanbau erstellt, die direkt als Applikationskarten für den Feldspritzeneinsatz genutzt werden können. Durch die Verbindung von nicht-invasivem und objektivem Monitoring mittels hyperspektraler optischer Sensoren sollte ein stärker ökologisierter Sonderkulturanbau mit präziser Pflanzenschutzapplikation möglich sein.

Teilprojekt Automatisierung im Feldgemüsebau: Zur stärker automatisierten Etablierung und Bestandsführung von Gemüse sollen während jeder Maßnahme Informationen zum Bestand erfasst und ausgewertet werden, um diese dann in ein FMS bzw. Cloudsystem zu liefern. Bereits bei der Bestandsetablierung mittels autonomer Pflanzmaschinen können

Einzelpflanzen georeferenziert erfasst werden. Die Einzelpflanzenpositionen können während der folgenden gesamten Vegetation hilfreich sein, wie etwa für die Navigation und die Bestimmung des Status und der Eigenschaften von Gemüsepflanzen. Mittels kamerabasierter Bildanalysen soll eine selektive Ernte und Erfassung von Ernteguteigenschaften wie Durchmesser, Qualität, Farbintensität und Beschädigungen verbessert werden. Darüber hinaus können vor Erntebeginn bereits Informationen zu Erntemengen und Qualitäten der abnehmenden Hand geliefert werden, die für den Anbauer wichtig sind, aber auch in die (digitale) Wertschöpfungskette automatisiert einfließen können.

In Ausnahmesituationen wie Naturkatastrophen, Wegfall betriebsexterner Datenkommunikation u. ä. soll die betriebsinterne digitale Netzstruktur zur Aufrechterhaltung der Produktion funktionsfähig bleiben. Dazu wird eine Netz- und Datenstruktur entwickelt, die auch in einem Krisenfall die notwendigen Informationen für eine begrenzte aber ausreichende Prozessfunktion bereitstellt [Re18, Gri19, KRS20].

Teilprojekt modellgestützte Entscheidungshilfen zur Optimierung der N-Düngung und des Erntemanagements sowie der Ertragsqualitäten: Feldgemüsekulturen erfordern in der Regel Anbaupausen, bei denen Getreide und eiweißhaltige Körnerfrüchte in der Fruchtfolge eine wichtige Ausgleichsrolle spielen. Aufgrund der regional typischen landwirtschaftlichen Kleinstrukturen mit einer hohen Anzahl an sehr kleinen Einzelschlägen können digitale Entscheidungshilfen im Ackerbau sehr hilfreich sein, um die Nachhaltigkeit des Anbausystems zu erhöhen. Bei den ackerbaulichen Maßnahmen stehen die Fruchtfolgen mit Getreide, Mais und Soja im Zentrum. Speziell für diese Kulturen stehen standortangepasste teilflächenspezifische Aussaat, N-Düngung, Ertrags- und Qualitätsabschätzung auf heterogenen Kleinstschlägen sowie darauf aufbauend die Planung des Mähdreschereinsatzes und der Transportfahrzeuge basierend auf Ertragshöhe und resultierender Erntequalität im Analysefokus. Dazu zählt die Anlage der Teilflächen in einem modernen FMIS und die Planung der weiteren Kulturführung mithilfe verschiedener digitaler Entscheidungshilfen. Es wird zudem angestrebt, auf Basis schlagspezifischer Daten das pflanzenbauliche Management der Flächen modellgestützt zu optimieren, d. h. ökonomisch effizienter und gleichzeitig ökologisch und sozial nachhaltiger zu gestalten. Basierend auf den so entwickelten Entscheidungshilfen können Managementprozesse optimiert sowie die Möglichkeiten geschaffen werden, neue datenbasierte Dienstleistungen für die Akteure des Agrarökosystems bzw. der Wertschöpfungsketten anzubieten.

2.1.2 Nutzen für Anbauer und andere Stakeholder (Wertschöpfungskette)

Durch die Entwicklung von Sensorik, Aktorik und Möglichkeiten der digitalen Vernetzung im Feldgemüse- und Getreideanbau werden vielfältige Optimierungen genutzt, um Effizienzen im Betriebsmitteleinsatz als auch durch Informationen zur Produktqualität Vermarkungsvorteile für den nachgelagerten Wertschöpfungsbereich zu erreichen.

2.2 Digitalisierte Pferdehaltung (Metropolregion)

In der Metropolregion Stuttgart wird auch das Pferd in Verbindung mit landwirtschaftlichen Unternehmen in den Fokus gestellt. Von den ca. 1,3 Millionen Pferden in Deutschland sind mit über 100.000 Pferden ein erheblicher Teil in Baden-Württemberg beheimatet. Speziell in den Metropolregionen wie z. B. Stuttgart stehen überdurchschnittlich viele Sportpferde in landwirtschaftlichen Pensionsställen, die somit einen wichtigen Betriebszweig für die Betriebe darstellen und zur Einkommens-diversifizierung der Landwirte beitragen. Mit den Pferden sind vielfältige, aber häufig auch arbeitsintensive Wertschöpfungsprozesse verbunden, die bislang wenig digitalisiert oder technisiert sind und damit ein großes Digitalisierungspotenzial aufweisen.

2.2.1 Kurzbeschreibung des Teilprojekts mit Zielsetzungen

In diesem Teilprojekt sollen mehrere stärker digitalisierte Anwendungen adressiert werden. Dazu zählen:

1. Entmistung: Etablierung von digital gestützten Entmistungssystemen in Pferdehaltungen, um optimierte Arbeitsabläufe und Umweltwirkungen in den Betrieben zu ermöglichen. Dazu soll ein selbstfahrendes Entmistungssystem in Gruppenhaltungssystemen erprobt werden. Dieses System soll selbstständig Pferdemist aus dem Tierbereich entnehmen, ohne das Tierwohl zu beeinträchtigen.
2. Fütterung: Etablierung von automatisierten Krippenfutter- und Raufutterautomaten unter Beachtung von Tierwohlkriterien. Dazu werden Tierwohlparameter bei Pferden in Boxen- und Gruppenhaltung erhoben und durch Entwicklung von Algorithmen für einen Tierwohlindex verfügbar gemacht.
3. Betriebsmanagementsysteme: Kombinierung verschiedener technisch-digitaler Systeme im Betriebsablauf wie Fütterungstechnik, Futterlagerung und Entmistung, aber auch von digitaler Zaunüberwachung durch Nutzung von Schnittstellen- und Datenkompatibilität. Die Einbindung in übergeordnete Farm Management Systeme und externe Betriebssysteme (Futtermittelhandel) soll erfolgen.
4. Tierwohlindikatoren: Sensorische Ermittlung von Lauf- und Liege- sowie von Futter- und Wasseraufnahmeverhalten von Pferden in Boxen- und Gruppenhaltungen zur Ableitung von Tierwohlindikatoren.

Für das Experimentierfeld Pferd werden auf der Versuchsstation Jungborn der HfWU Nürtingen sowie auf Praxisbetrieben sowohl lokalstationäre, servergestützte technische Anwendungen Einsatz finden. Darüber hinaus werden auch cloudbasierte und servergestützte Anwendungen in den Bereichen der Fütterungs- und Entmistungstechnik eingesetzt werden. Ergänzend dazu sollen Schnittstellen zwischen den Systemen in der Pferdehaltung wie auch zu vor- bzw. nachgelagerten Bereichen aufgebaut werden, um den Datenaustausch zwischen den Einheiten zu ermöglichen. Dazu sind cloudbasierte

Anwendungen notwendig, die einen entsprechenden Datentransfer, aber auch eine entsprechende Sicherheit gewährleisten. Bei möglichen digitalen Kommunikationsproblemen wird die Datensteuerung lokalstationär serverbasiert erfolgen, so dass der technische Ablauf im Stall bei überregionalen Netzproblemen nicht gefährdet ist (Resilienz). Das digitale Weidemanagement wird cloudbasiert organisiert, weil es in dieser Form leichter umsetzbar ist. Das Betriebsmanagement wird lokalstationär serverbasiert erfolgen, mit einer Anbindung an cloudbasierte übergeordnete FMIS.

2.2.2 Nutzen für Anbauer und andere Stakeholder (Wertschöpfungskette)

Der Nutzen von digital gestützten Systemen in Pferdehaltungen besteht in stärker systematisierten und optimierten Betriebsabläufen mit arbeitswirtschaftlicher Entlastung der Betriebsleitung.

2.3 Grünland und Rinderhaltung (Südschwarzwald)

Die Region Südschwarzwald ist durch einen hohen Grünlandanteil, z. T. mit extensiver Bewirtschaftung, auch aufgrund der herausfordernden topografischen Rahmenbedingungen geprägt. Bei vorwiegender Rinderhaltung werden auch Steillagen freigehalten und vielfach ökologisch mit dem Ziel der Milch- oder Fleischproduktion bewirtschaftet. Diese mechanisch z. T. schwer zu bewirtschaftenden Flächen, aber auch eine für den Naturschutz relevante Flora und Fauna, zeigen erhebliche Ansatzpotenziale für digitale Unterstützungsmöglichkeiten, um diese effizienter als auch noch naturnaher mit einem bedarfsgerechteren Tiermanagement zu gestalten.

2.3.1 Kurzbeschreibung Teilprojekte mit Zielsetzungen

Teilprojekt Grünlandbewirtschaftung und Management: In der Experimentiereinheit Grünland wird ein ganzheitliches Weide- und Wiesenmanagement für die Versorgung der Produkt- bzw. Dienstleistungseinheiten Rinder sichergestellt. Deswegen wird eine Sensorik zum Monitoring der Biomasse- und Qualitätsentwicklung adressiert, die eine satellitengestützte Fernerkundung und Datenerhebung am und im Feld nutzt. Erheben lassen sich beispielsweise Bilddaten in unterschiedlichen Spektralbereichen (sichtbares Licht, NIR), die Massenentwicklung anhand der Vegetationshöhe und -dichte, aber auch Klimadaten. Für den Einsatz in Futtererntemaschinen ist eine Vielzahl von Sensoren geeignet, um die verschiedenen Funktionen der Maschinen zu erfassen, zu überwachen und eventuell zu automatisieren. Diese Prozessdaten können in der Futterernte gesammelt und analysiert werden. Aus den Prozess- und Qualitätsdaten lassen sich Informationen zur tatsächlichen Erntemenge und -qualität ableiten. Mit Integration dieser Informationen in ein FMIS können zukünftige Entscheidungen hinsichtlich einer besseren Futterproduktion besser getroffen werden. Die Art und der Umfang der Datenströme sollten auch mit den vorhandenen Netzstrukturen im Südschwarzwald realisierbar sein.

Teilprojekt Weidemanagement und Rinderfütterung mit Unterstützung des maschinellen Lernens: Mit dem Ziel, die Nährstoffversorgung durch die lokal verfügbare Futterressource „Weide“ zu optimieren und den Bedarf an zugekauften Ergänzungsfuttermitteln zu reduzieren, wird ein konstantes digitalisiertes Monitoring des Futterwertes und Ertrags des Weideaufwuchses sowie deren räumlicher und zeitlicher Veränderungen erfasst. Dabei wird auch die Futter- und Nährstoffaufnahme sowie die Produktionsleistung der Tiere ermittelt. Daraus werden standortangepasste Handlungsempfehlungen und ein strukturiertes Beweidungsmanagement abgeleitet, auch um mögliche negative Effekte der Beweidung auf die Vegetationszusammensetzung und den Boden zu reduzieren.

2.3.2 Nutzen für Anbauer und andere Stakeholder (Wertschöpfungskette)

Durch eine stärker digitalisierte, grünlandbasierte Rinderhaltung soll ein naturnäheres, aber dennoch gut für Fütterungszwecke verwertbares Grünland mit angepasster digital unterstützter Mechanisierung und Entscheidungshilfe- sowie Managementsystemen möglich werden. Gleichzeitig soll diese Form der Rinderhaltung in dem zukünftig von der Bundesregierung geplanten Tierwohllabel besser digital integrierbar sein.

3 Ausblick

Neben der Weiterentwicklung digitalisierter Anwendungen landwirtschaftlicher Bodenbewirtschaftungen und Tierhaltungen erfolgt ein zunehmender Wissenstransfer in die Praxis, der in Kooperation mit dem Verbundprojekt DIABEK das gesamte süddeutsche Gebiet adressiert.

Literaturverzeichnis

[GFB20] Griepentrog, H. W., Frank, M., Bahrs, E. Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft – DiWenkLa. In 40. GIL Jahrestagung, Freising - Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier (pp. 367–372). GI, Bonn, 2020.

[Gr19] Griepentrog, H. W., Weis, M., Weber, H., Schneider, W. Maschinenring Digital (MR digital) - Digitalisierungskonzept für kleine und mittlere Betriebe. In 39. GIL Jahrestagung (pp. 65–70). BOKU, Wien, Austria: GI, Bonn, 2019.

[Re18] Reuter, C., Schneider, W., Eberz, D., Bayer, M., Hartung, D., Kaygusuz, C. Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft - mobil, dezentral, ausfallsicher. In R. Dachselt & G. Weber (Eds.) (pp. 623–632), GI, Bonn, 2018.

[Ku20] Kuntke, F., Reuter, C., Schneider, W., Eberz, D., Bernardi, A. Die GeoBox-Vision - Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. 7. Workshop Mensch-Maschine-Interaktion in sicherheitskritischen Systemen, p. 6, Magdeburg, 2020.

Bericht aus dem Experimentierfeld DIWAKOPTER

Digitalisierung im Weinbau und Ackerbau unter Nutzung von Multikoptern, vernetzter Sensorik und satellitengestützten Kommunikationskanälen

Rainer Keicher[1], Bianca Rauber[1], Hans-Peter Schwarz[1] und David Brunner[1]

Abstract: Das Experimentierfeld DIWAKOPTER ist eines von insgesamt 14 Projekten, die im Rahmen der Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft unterstützt werden. Ziele des Vorhabens sind die Einführung einer auf geostationären Satelliten beruhenden Kommunikationsinfrastruktur und die Einführung der Technik des „Drone-Trackings" bei Multikopternutzung zur Gewährleistung des autonomen Fluges und der Absicherung anderer Luftverkehrsteilnehmer. Außerdem soll neue Sensorik und Aktorik zur bedarfsorientierten, luftgestützten Applikation von Fungiziden mittels Sprühdrohnen genutzt werden. Auch die Nährstoffversorgung der Pflanzen aus der Luft unter Berücksichtigung des Pflanzenbedarfs, der Wasserverfügbarkeit sowie der DüngeVO-Obergrenzen soll untersucht werden. Der aktuelle Stand der verschiedenen Aufgaben im Experimentierfeld DIWAKOPTER wird in diesem Bericht genauer erläutert.

Keywords: Multikopter, vernetzte Sensorik, satellitengestützte Kommunikationskanäle, Experimentierfeld DIWAKOPTR, „Drone-Tracking", autonomer Flug, luftgestützte Applikation von Fungiziden und Düngern, Sprühdrohne

1 Einleitung

Das Experimentierfeld DIWAKOPTER ist im Frühjahr 2020 gestartet und war damit eines der letzten Experimentierfelder, welches mit der Arbeit begonnen hat. Im Mittelpunkt des Projekts stehen die Themen Nutzung von Multikoptern, vernetzter Sensorik und satellitengestützten Kommunikationskanälen im Acker- und Weinbau. Die Multikopter dienen nicht nur als Trägerplattformen für verschiedenen Sensoren, wie Multispektralkameras, Hyperspektralkameras und 3D-Laser-Messsysteme, sondern werden auch für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und Düngern genutzt. Zudem wird ein Sensornetzwerk auf den Versuchsflächen im Wein und Weizen aufgebaut. Dieses Netzwerk enthält Sensoren, die Daten zum Niederschlag, der Sonnenscheindauer und anderen Parametern sammeln. Die Sensoren senden die gemessenen Werte automatisch zu einem Server, von dem aus verschiedene Prognosemodelle die Daten als Grundlage ihrer Berechnungen nutzen. Im Experimentierfeld DIWAKOPTER wird auch betrachtet, dass auf vielen landwirtschaftlichen Flächen die Mobilfunkanbindung nicht ausreichend ist und deswegen nicht überall ein 5G-Netzwerk verfügbar ist. Um Ausfällen in den Verbindungsstrecken vor-

[1] Hochschule Geisenheim University, Institut für Technik, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, bianca.rauber@hs-gm.de; hans-peter.schwarz@hs-gm.de; rainer.keicher@hs-gm.de; david.brunner@hs-gm.de

beugen zu können, wird die Technik der satellitengestützten Kommunikationskanäle genutzt. Mit Hilfe verschiedener Lösungen kann z. B. am Feldrand eine WLAN-Verbindung aufgebaut oder eine Verbindung der Drohne via Satellit ins Internet hergestellt werden. Das Zusammenspiel dieser Techniken und Lösungsansätze wird zu Beginn des Projektes in den Kulturen Wein und Weizen getestet. Nach dieser Test- und Probephase wird der Kreis der Kulturen um Apfel, als eine Raumkultur, und Raps als eine weitere Feldfrucht, erweitert.

2 Aufgabenbereiche

2.1 Multikopternutzung

Multikopter werden im Experimentierfeld DIWAKOPTER für unterschiedliche Aufgaben genutzt. Sie dienen zum einen als Sensorplattform und zum anderen als Sprühgerät bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und Düngern. Aufgrund dieser unterschiedlichen Aufgaben werden auch unterschiedliche Drohnen genutzt. Als Sensorplattform stehen im Institut für Technik zwei Drohnen der Firma FreeFly Systems zur Verfügung. Es handelt sich dabei um zwei baugleiche Drohnen des Modells Alta X. Diese Drohnen wurden gewählt, da sie eine hohe Nutzlast von über 15 kg haben und auch mit einem hohen Gewicht ausgestattet immer noch eine Flugzeit von über 20 Minuten erreichen können. Zudem ist es durch vorgeformte Schnittstellen möglich, dass viele unterschiedliche Sensoren oder Kameras ohne große Integrationsarbeiten angeschlossen werden können. Der Vorteil bei der Nutzung von Drohnen zur Erkundung der Ackerflächen bzw. Weinberge liegt darin, dass sich die Flächen sehr exakt und zu jedem gewünschten Zeitpunkt abfliegen lassen. Bei der Nutzung von z. B. Satellitenbildern ist es hingegen so, dass die Daten nur für bestimmte Zeiten vorliegen und die Qualität von der Wolkenbedeckung abhängig ist. Durch die flexiblen Befliegungen können vor allem spezielle Wachstumsstadien gut verfolgt und Aufzeichnungen darüber angefertigt werden.

Für das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln und Düngern werden verschiedene Sprühdrohnen genutzt. Zur Zeit ist die Nutzung dieses Verfahren nur für Forschungsanstalten zulässig. Aktuell wurde vom Julius-Kühn-Institut eine Sprühdrohne der Firma DJI als Sprühgerät zugelassen [BL20]. Neben den Zulassungen der Sprühdrohnen für den Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis ist es aber auch wichtig, dass die Pflanzenschutzmittel selbst für die Nutzung eines solchen luftgestützten Ausbringungsverfahrens zugelassen sind. Die im Projekt hauptsächlich verwendete Sprühdrohne ist eine EVO-X8, welche mit einem 20 l-Tank der Firma agrotop ausgestattet ist. Sie besitzt ein Abfluggewicht von maximal 51 kg und eine Spannweite von 2,5 m. Das Sprühsystem „CleverSpray“ stammt von der Firma inovel. Mit diesem System ist es möglich, dass Informationen z. B. über die Ausbringmenge und die Flugroute via einer App aufgezeichnet werden. Diese Informationen werden dann an eine Website geleitet, die es ermöglicht, die durchgeführten Appli-

kationen rückzuverfolgen. Die Befüllung der Drohne erfolgt über eine spezielle Befüllstation der Firma agrotop. Die Station ist mit dem System „easyFlow Entnahme- und Reinigungssystem“ ausgestattet. Dies ermöglicht das verlustarme und umweltfreundliche Befüllen der Drohne. Zudem werden die Belastungen für den Anwender beim Umgang mit den Pflanzenschutzmitteln minimiert. Ein Vormischen von bis zu 200 l Spritzbrühe und die Mitnahme zur Zielfläche ist möglich. Eine Befüllung der Drohne kann somit direkt an den landwirtschaftlichen Flächen stattfinden.

2.2 Multispektralkamera, Hyperspektralkamera, 3D-Laser-Scanner

Neben den Sprühdrohnen werden Drohnen auch als Plattformen für verschiedene Sensoren genutzt. So werden Multispektralkameras, Hyperspektralkameras oder 3D-Laser-Scanner genutzt, um Informationen über den Bestand zu sammeln. Die Aufnahmen der Multi- und Hyperspektralkameras sind die Grundlage für die Berechnung verschiedener Vegetationsindices [Wa12]. Die Kameras machen Aufnahmen in definierten Wellenlängenbereichen und erzeugen somit kein normales RGB-Bild (Rot-Grün-Blau), sondern ein Bild einzelner Wellenlängenbereiche. Dieses Bild hat keinen Farbton und wird bei der Auswertung mit Pseudofarben gefüllt, um Unterschiede aufzuzeigen. Mit Hilfe der unterschiedlichen Indices lassen sich Aussagen zum Zustand der Pflanzen treffen. Der Versorgungszustand der Pflanzen oder auch der Gesundheitszustand lassen sich so charakterisieren [No18]. Dadurch lassen sich wiederum Unterschiede innerhalb eines Feldes feststellen oder z. B. Unterschiede zwischen verschiedenen Sorten erkennen. Diese Daten können dann wiederum als Grundlage für eine spezifische Ausbringung von Düngern oder Pflanzenschutzmitteln genutzt werden. Es werden Applikationskarten für das jeweilige Feld erstellt, aus denen ersichtlich wird, welche Stelle wie viel Wirkstoff benötigt. So soll es ermöglicht werden, dass sensorgestützt auch Kleinstmengen an Wirkstoffen punktgenau appliziert werden können. Dies soll die Ressourcen schonen und Mittel einsparen.

Ein weiterer Sensor, der die Ausbringung von Düngern und Pflanzenschutzmitteln unterstützt, ist ein 3D-Laser-Scanner. Die Messungen dieses Gerätes ermöglichen die Berechnung des Laubwandvolumens bzw. der vorhandenen Blattfläche [SPD12]. Anhand des berechneten Volumens kann die Menge an auszubringendem Wirkstoff genauer berechnet werden und eine Fehlkalkulation wird vermieden. So ist es möglich, dass Bereiche mit mehr Vegetation auch mehr Wirkstoff erhalten und Bereiche mit geringerer Vegetation dementsprechend einen geringeren Mitteleinsatz erfahren.

Die Nutzung dieser Sensortechniken erfolgt zu Beginn des Projektes in einem sogenannten „Offline“-Verfahren. Dies bedeutet, dass die Messdaten der Sensoren in einer Workstation auf dem Boden verarbeitet und daraus dann Applikationskarten erstellt werden. Die errechneten Karten werden auf die Sprühdrohne geladen. Die Ausbringung der Wirkstoffe und Dünger erfolgt dann anhand dieser Karten. So ist es möglich, dass in unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche Behandlungsintensitäten durchgeführt werden können. In einem zweiten Schritt wird dieses Verfahren in eine „Online“-Variante überführt. Dies bedeutet, dass die Verrechnung der Sensordaten direkt auf der Drohne erfolgt.

Eine Übertragung der Rohdaten am Boden in eine Workstation entfällt somit. Das System generiert dann selbständig die Applikationskarten für die Ausbringung der Pflanzenschutzmittel und Dünger.

2.3 Sensornetzwerk

Bei einem Sensornetzwerk handelt es sich um eine Vielzahl verschiedener Sensoren, die über eine Funkverbindung ihre Messdaten zu einem Gateway senden. Dieses Gateway sendet die Daten dann via Internet zu einem Server, auf dem die Daten ausgewertet werden. Auf den Versuchsflächen wurden insgesamt 36 Sensoren für die Messung der Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur angebracht. Zu diesen Sensoren kommen noch jene hinzu, die die Bodenfeuchte und die Bodentemperatur messen. Außerdem wird auch eine Wetterstation aufgestellt, die zusätzlich Daten wie die Sonneneinstrahlung, den Luftdruck, die Windgeschwindigkeit oder weitere Parameter misst. Alle Sensoren besitzen die Eigenschaft, dass sie über LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) kommunizieren. Die Sensoren senden nach einem vorgegebenem Muster ihre Messdaten via LoRaWAN zu einem Gateway. Dieses Gateway empfängt die Messdaten der Sensoren und sorgt durch eine Internetanbindung dafür, dass die Daten zu einem Server gesendet werden. Der Server verarbeitet die eingehenden Daten. Aus diesen Daten kann wiederum unter Nutzung von Prognosemodellen das mögliche Auftreten von Krankheiten errechnet werden. Dies ist möglich, da vor allem pilzliche Erreger spezielle Bedingungen benötigen, um sich zu entwickeln und zu verbreiten. Die benötigten Bedingungen sind zum Teil recht spezifisch, weshalb die Krankheitserreger zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Bedingungen im Vegetationsverlauf auftreten. Die Vorhersage einer möglichen Infektion mit z. B. einer Pilzkrankheit hilft dabei, den Einsatz der Pflanzenschutzmittel richtig zu terminieren. Pflanzenschutzmittel, die ausgebracht werden, ohne dass ein Infektionsrisiko vorliegt, sind in diesem Fall verschwendete Ressourcen. Es erhöht außerdem das Risiko der Resistenzbildung. Einmal vorhandene Resistenzen sind nur noch schwer in den Griff zu bekommen. Zudem ist auch das Schadschwellen-Prinzip beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln immer zu beachten, um negative Auswirkungen zu verhindern.

2.4 Satellitengestützte Kommunikationskanäle

In einigen Bereichen Deutschlands liegt immer noch keine Anbindung an das Internet vor. So ist es auch auf einigen landwirtschaftlichen Flächen der Fall, dass man weder ein Telefonnetz, noch eine Internetverbindung aufbauen kann. Diese „weißen“ Flecken sind vor allem im ländlichen Bereich noch recht häufig anzutreffen [BV19]. Möchte man nun im Zuge der Digitalisierung das Precision Farming nutzen, wird eine leistungsstarke Verbindung zum Internet notwendig. Eine Großzahl an Daten muss zwischen Maschinen, Programmen und Netzwerken ausgetauscht werden. Die Nutzung der 5G-Technologie kann dies leisten. Da aber die Abdeckung des 5G-Netzes aktuell noch nicht ausreichend ist

[BV20], untersucht das Experimentierfeld die Nutzung satellitengestützter Kommunikationskanäle. Im Rahmen des Projektes wird eine Drohne mit einem speziellen Modem ausgestattet. Dieses Modem ermöglicht es, dass Daten der Drohne oder der Sensoren zu Satelliten geschickt werden können, und stammt von der Firma Telespazio VEGA. Die Satelliten funken die Daten wiederum an einen Server, welcher die Daten in das Internet einspeist. Diese Daten können dann abgerufen und genutzt werden. Diese Technologie wird genutzt, um ein „Drone-Tracking“ durchzuführen. Beim „Drone-Tracking“ geht es darum, dass die Drohne für andere Luftverkehrsteilnehmer sichtbar wird und somit keine Gefahr bei den Flügen von Flugzeugen oder Hubschraubern darstellt. Zudem soll durch diese Technik ein Flug außerhalb der Sicht des Piloten ermöglicht werden. Die Drohne sendet ihre genauen Positionsdaten im Endeffekt über zwei Wege. Zum einen wird der übliche Weg über ein Mobilfunknetz abgedeckt und zum anderen wird die Datenübertragung via Satellit genutzt. Beide Systeme sind parallel auf der Drohne montiert. Für die Nutzung des Mobilfunknetzes wird ein Modem der Firma Droniq genutzt, welches eine SIM-Karte enthält. Das Modem sendet die Positions- und Steuerdaten der Drohne via Mobilfunk an einen Server der Deutschen Flugsicherung (DFS). Die Daten werden dann in ein Programm, das sogenannte UTM (UAS Traffic Management System) überführt. Die Drohne wird so für den gesamten Flugverkehr sichtbar. Das Modem erfasst außerdem FLARM- und ADS-B-Signale des umliegenden Flugverkehrs und sendet diese zusätzlich zur eigenen Position an das UTM. Des Weiteren sendet das Modem auf der Drohne auch eigene Positionsdaten via FLARM, so dass die Drohne bei anderen FLARM-Nutzern sichtbar wird. Um einem Ausfall dieser Technik durch ein Funkloch vorzubeugen, wird der Weg der Satellitenkommunikation genutzt. So ist es möglich, dass die Daten auch ohne Netzabdeckung gesendet werden können. Die Drohne bleibt also weiterhin für den Flugverkehr sichtbar.

Neben dem satellitengestützten Modem auf der Drohne wird die Technologie auch am Boden verwendet. Durch Nutzung eine Kofferlösung kann ein WLAN-Netz am Feldrand erzeugt werden. Die Kofferlösung beinhaltet zwei Koffer mit zum einem einer automatisch ausrichtenden Satellitenschüssel und zum anderen einen Steuerungskoffer. Mit Hilfe der automatisch ausrichtenden Satellitenschüssel wird über einen Knopfdruck Verbindung zu dem Satellitennetzwerk aufgenommen. Das System erzeugt dann ein WLAN-Netz im Bereich der Satellitenschüssel. Dieses kann genutzt werden, um Laptops, Handys oder Ähnliches mit Internet zu versorgen. Auf diesem Weg können überall Daten empfangen und gesendet werden. Über einen Laptop oder ein Smartphone, das in diesem WLAN-Netz eingeloggt ist, kann man sich dann in das UTM-System einwählen. Das UTM-System zeigt dem Nutzer die Position seiner Drohne und die Positionen anderer Luftverkehrsteilnehmer in Echtzeit an. Zudem werden Flugverbotszonen ersichtlich und die Auswertung und Nachbereitung des Flugs ermöglicht.

Neben der Datenlieferung an das UTM-System, haben die satellitengestützten Systeme auch die Aufgabe, die anfallenden Daten zu transportieren. Es soll ermöglicht werden, dass sämtliche während der Produktion anfallenden Daten automatisiert erfasst und allen autorisierten Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Verschiedene Kommunikationen

zwischen den Drohnen, dem UTM-System, dem Sensornetzwerk und einem Datenserver sollen über Satellitenfunk erfolgen. Für diese Kommunikationswege wird ebenfalls die zuvor beschriebene Hardware der Firma Telespazio VEGA verwendet.

3 Projektförderung

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft mit dem Förderkennzeichen 28DE105A18.

Literaturverzeichnis

[BL20] Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). https://www.praxis-agrar.de/pflanze/weinbau/spruehdrohnen-im-weinbau/, Stand: 16.10.2020.

[BV19] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 26.10.2020.

[BV20] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/kommunikationsinitiative-mobilfunkausbau.html, Stand: 26.10.2020.

[No18] Noak, P. O.: Einsatz von Multi- und Hyperspektralsensoren in der Landwirtschaft, 38. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und PFGK18 Tagung in München – Publikationen der DGPF, Band 27. 2018.

[SPD12] Selbeck, J., Pforte, F., Dworak, V.: Vergleich zweier optischer Techniken zur automatischen Abschätzung der Blattfläche auf Baumebene. Biosystems Engineering, Vol. 113/4. 2012.

[Wa12] Wang, W., Yao, X., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., Ni, J., Cao, W., Zhu, Y.: Estimating leaf nitrogen concentration with three-band vegetation indices in rice and wheat. Field Crops Research, Volume 129, Seiten 90-98. 2012.

Experimentierfeld DigiSchwein

Entwicklung eines sensorbasierten Frühwarn- und Entscheidungshilfesystems für die Schweinehaltung

Marc-Alexander Lieboldt[1], Stefan Sagkob[1], Jan Reinkensmeier[2], Jorge Marx Gómez[3], Philipp Hölscher[4], Nicole Kemper[5], Imke Traulsen[6], Harm Drücker[7] und Ludwig Diekmann[1]

Abstract: Das Experimentierfeld DigiSchwein hat die Entwicklung eines sensorbasierten Frühwarn- und Entscheidungshilfesystems für schweinehaltende Praxisbetriebe zum Ziel. Als digitales Farmmanagementsystem arbeitet es nach dem Grundprinzip: Dateninput (Sensoren), Datenverarbeitung (Software) und Datenoutput (Insight-Cockpit). Im Projekt werden marktübliche Sensoren unterschiedlichen Messprinzips in einer landwirtschaftlichen Versuchstierhaltung bei Sauen, Absetzferkeln und Mastschweinen erprobt. Diese Sensoren erfassen kontinuierlich und in Echtzeit ein breites Spektrum an Anlagen-, Stallklima-, Umwelt- und Tierdaten, die über ein Datenmanagementsystem miteinander verknüpft, gespeichert und verwaltet werden. Mittels Big Data-Analysemethoden des *Machine Learnings* werden Algorithmen entwickelt, welche erfasste Sensordatenmuster (Istwert) durch Abgleich mit Referenzdatenmustern (Sollwert) in Echtzeit bewerten und Prognosen erstellen. Das Ergebnis der komplexen Datenanalyse wird dem Systemnutzer in optisch aufbereiteter Form zur schnellen Erfassung über ein Dashboard visualisiert. Bei relevanten Abweichungen vom Sollwert werden Warnmeldungen mit Handlungsempfehlungen ausgegeben. Der Einsatz des Managementsystems soll dazu beitragen, Tiergesundheit, Betriebsmittel- und Nährstoffeffizienz sowie Umweltverträglichkeit schweinehaltender Praxisbetriebe nachhaltig zu verbessern.

Keywords: Big-Data-Analyse, Echtzeitkontrolle, Farmmanagementsystem, maschinelles Lernen, Ressourceneffizienz, *Precision Livestock Farming*, Sensoren, Tiergesundheit

[1] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Geschäftsbereich Landwirtschaft, FB 3.5, Mars-la-Tour-Straße 6, 26121 Oldenburg, marc-alexander.lieboldt@lwk-niedersachsen.de; stefan.sagkob@lwk-niedersachsen.de; ludwig.diekmann@lwk-niedersachsen.de
[2] OFFIS e.V., Institut für Informatik, Escherweg 2, 26121 Oldenburg, jan.reinkensmeier@offis.de
[3] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fakultät II - Department für Informatik, Abt. Wirtschafts-informatik/VLBA, Ammerländer Heerstraße 114-118, 26129 Oldenburg, jorge.marx.gomez@uol.de
[4] Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrartechnologie, Bundesallee 47, 38116 Braunschweig, philipp.hoelscher@thuenen.de
[5] Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Institut für Tierhygiene, Tierschutz und Nutztierethologie, Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover, nicole.kemper@tiho-hannover.de
[6] Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutztierwissenschaften, Abteilung Systeme der Nutztierhaltung, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen, imke.traulsen@uni-goettingen.de
[7] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Geschäftsbereich Landwirtschaft, FB 3.2, Mars-la-Tour-Straße 6, 26121 Oldenburg, harm.druecker@lwk-niedersachsen.de

1 Hintergrund des Experimentierfeldes

1.1 Aktuelle Situation der Schweinehaltung in Deutschland

Angesichts der wirtschaftlichen Situation sowie wachsender Forderungen aus Politik, Handel und Verbraucherschaft nach mehr Tierwohl, Nachhaltigkeit und Umweltschutz unterliegt die Schweinehaltung in Deutschland seit mehreren Jahren einem deutlichen Strukturwandel. Während die Anzahl schweinehaltender Betriebe von 2010 bis 2019 um ca. ein Drittel zurückging, nahm im gleichen Zeitraum die Anzahl gehaltener Schweine im Bundesgebiet um nur ca. 2 % ab [SB20]. Diese Diskrepanz erklärt sich dadurch, dass 2019 pro Betrieb durchschnittlich ein Drittel mehr Schweine gehalten wurden als noch im Jahr 2010 [St20]. Aus diesen Daten leitet sich ein deutlicher Entwicklungstrend hin zu Großbetrieben in der deutschen Schweinehaltung ab [SB20].

Vor dem Hintergrund des national geltenden Tierschutzrechts [Ti06a, Ti06b] und den seit Jahren rückläufigen Erwerbstätigenzahlen in der deutschen Landwirtschaft [SB20] stellt die wachsende Zahl zu betreuender Tiere pro Betrieb eine zunehmende Herausforderung für das Management schweinehaltender Betriebe dar. Neben einer schweinegerechten Haltung, Pflege und Versorgung muss der Tierhalter die tägliche Kontrolle des Wohlbefindens seiner Schweine sowie ihrer Haltungsbedingungen sicherstellen [Ti06a, Ti06b]. Auf täglichen Kontrollgängen kommt der Tierhalter oder sein sachkundiges Personal dieser Verpflichtung durch die direkte Inaugenscheinnahme der Tiere und ihrer Haltungsumgebung nach. Das Ergebnis solcher Kontrollen hängt jedoch nicht nur stark von der Sachkunde und Erfahrung, sondern auch von der subjektiven und oftmals zeitlich begrenzten Wahrnehmung der beobachtenden Person ab (Abb. 1). Folglich wächst das Interesse an einer objektiveren und vor allem kontinuierlichen Ergänzung der Tier-, Umwelt- und Anlagenbeobachtung mittels automatischer Sensordatenerfassung [Be17, BY19]. Während die personenbasierte Kontrolle der Haltungsbedingungen in vielen Praxisbetrieben bereits routinemäßig durch die fortlaufende Erfassung und Auswertung von Stallklimadaten ergänzt wird, fehlt eine automatische Dokumentation tierbezogener Daten noch weitgehend.

1.2 Lösungsansatz: *Integrated Farm Management Systems*

Mit dem Hauptziel, tierhaltende Landwirte bei den wachsenden Herausforderungen im Betriebsmanagement (z. B. Tierkontrolle, Dokumentation) zielgerichtet und effektiv zu unterstützen und dabei die Betriebsproduktivität nachhaltig zu optimieren, wird die Entwicklung und Anwendung sogenannter *Precision Livestock Farming* bzw. *Integrated Farm Management* Systeme in der Nutztierhaltung seit mehreren Jahren untersucht [Be15, Gu17, BY19]. Diese Systeme dienen einer objektiven, fortlaufenden Echtzeitüberwachung des Tierbestandes (z. B. Leistung, Gesundheit, Wohlbefinden), der Haltungsumgebung (z. B. Qualität des Stallklimas) sowie der darin betriebenen technischen Anlagen

(z. B. Heizung, Ventilation) [Be17, Gu17]. Mängel in diesen Bereichen sollen von *Integrated Farm Management* Systemen frühzeitig objektiv erkannt und nach direkter Meldung an den Tierhalter umgehend behoben werden. Neben der Überwachung von Tiergruppen soll, insbesondere in Anbetracht wachsender Tierbestände, auch die Einzeltierbezogene Datenerfassung ausgebaut werden. Funktionell basieren *Integrated Farm Management* Systeme auf folgendem Grundprinzip (Abb. 1): 1) Sensorsysteme unterschiedlichen Messprinzips, die im Stall kontinuierlich und objektiv große Datenmengen erfassen (Dateninput), 2) Algorithmen aus dem Bereich Big Data-Analyse und *Machine Learning* (Software), welche erfasste Daten in Echtzeit automatisch und problemorientiert auswerten (Datenverarbeitung) und 3) Visualisierung der Auswertung in einer für den Systemnutzer verständlichen und schnell erfassbaren Form (Datenoutput) [Be17, Gu17].

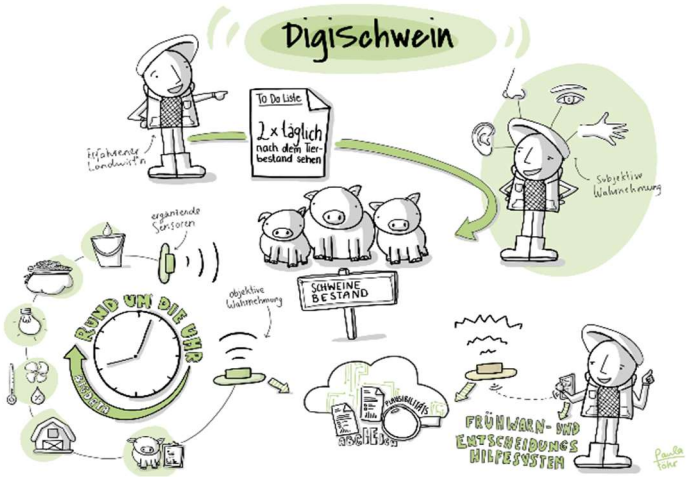


Abb. 1: Schematische Darstellung zum Forschungs- und Entwicklungsansatz eines Frühwarn- und Entscheidungshilfesystems im Experimentierfeld DigiSchwein (Quelle: LWK Niedersachsen)

2 Experimentierfeld DigiSchwein

2.1 Ziele des Experimentierfeldes

Das Grundkonzept der *Integrated Farm Management* Systeme aufgreifend arbeitet das Experimentierfeld DigiSchwein als interdisziplinäres Verbundprojekt an der Entwicklung eines sensorbasierten Frühwarn- und Entscheidungshilfesystems für schweinehaltende Praxisbetriebe (Abb. 1). Dabei sollen die Digitalisierung und das Datenmanagement in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung problemorientiert weiterentwickelt und die daraus resultierenden Erkenntnisse praxisverfügbar gemacht werden. Durch seine gezielte Ausrichtung an praxisrelevanten Problemfeldern der modernen Schweinehaltung erforscht das Experimentierfeld insbesondere 1) die Praxistauglichkeit marktüblicher Sensortechniken

in Hinblick auf Datenplausibilität, Funktionssicherheit und Kompatibilität sowie 2) deren kombinierte Einsatzmöglichkeit zur Früherkennung von (Faktoren-) Krankheiten und ihren Risikofaktoren, Vermeidung von Schwanzbeißen bei nicht kupierten Schweinen, Geburts- und Verhaltensüberwachung sowie Stoffstrombilanzierung (Abb. 2). Auf Betriebsebene soll der Einsatz des Farmmanagementsystems „DigiSchwein" letztlich dazu beitragen, die Bereiche Tiergesundheit und Tierwohl, Betriebsmitteleffizienz und Arbeitskräfteeinsatz, Nährstoffeffizienz und Umweltverträglichkeit sowie Dokumentation und Transparenz der Produktion nachhaltig zu verbessern.

2.2 Projektkonsortium des Experimentierfeldes

Aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit des beabsichtigten Entwicklungsvorhabens sowie des dafür notwendigen Fachwissens aus den Bereichen *Data* und *Life Science* hat sich das Experimentierfeld DigiSchwein explizit interdisziplinär aufgestellt. Das Forschungsteam setzt sich aus Fachleuten der Informatik, der Landwirtschaft und Landtechnik sowie der Veterinärmedizin zusammen. Am Experimentierfeld beteiligte Projektpartner sind die Landwirtschaftskammer Niedersachsen, das OFFIS e.V., die Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, das Johann Heinrich von Thünen-Institut, die Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover und die Georg-August-Universität Göttingen. Begleitet wird das Projekt von einem ebenfalls interdisziplinären Expertenbeirat.

2.3 Konzept des Experimentierfeldes

Die tierexperimentellen Untersuchungen zur Entwicklung des Farmmanagementsystems „DigiSchwein" werden auf der Versuchsstation für Schweinehaltung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Bad Zwischenahn-Wehnen) bei Sauen (tragend, säugend), Aufzuchtferkeln und Mastschweinen durchgeführt. In der initialen Projektphase werden marktübliche Sensoren unterschiedlichen Messprinzips an repräsentativen Stellen in der Haltungsumgebung der Tiere, an den darin betriebenen technischen Anlagen sowie z. T. an den Tieren selbst installiert (Abb. 2). Ziel ist es, kontinuierlich und in Echtzeit ein breites Spektrum an Anlagen-, Stallklima-, Umwelt- und Tierdaten zu erfassen. Sensoren zur Erfassung von Anlagendaten sind unter anderem Verbrauchszähler (Gas, Wasser, Strom), Drucktransmitter, Durchflusssensoren, Wiegezellen (z. B. Futter), Näherungsschalter, Bewegungsmelder und Nahinfrarotspektroskopie-Sensoren. Solche für die Aufzeichnung von Stallklima- und Umweltdaten sind z. B. Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren, Anemo- und Luxmeter sowie Schadgassensoren. Die Sensoren zur Dokumentation von tierbezogenen Daten bilden vor allem *Radio Frequency Identification* (RFID)-Ohrmarken z. T. mit Beschleunigungssensoren, Video- und Wärmebildkameras sowie Mikrofone.

Der über die Sensoren generierte Dateninput läuft in einer Datenmanagementplattform zusammen (Abb. 2), die eigens für die Bedürfnisse des Experimentierfeldes auf Basis von Open Source Big Data und Cloud-Technologien entwickelt wird. Ein Datenstrommanagementsystem nimmt zunächst die in der realen Welt erfassten, heterogenen Sensordaten

als zeitgestempelte Werte auf Abteil-, Buchten- oder Einzeltierebene über verschiedene Konnektoren auf und integriert diese via Mapping, Plausibilisierung, Normalisierung und ggf. Aggregation. Insbesondere die Erfassung von tierindividuellen Zeitreihen macht eine hohe Skalierbarkeit über die Anzahl der Zeitreihen auf der Plattform erforderlich.

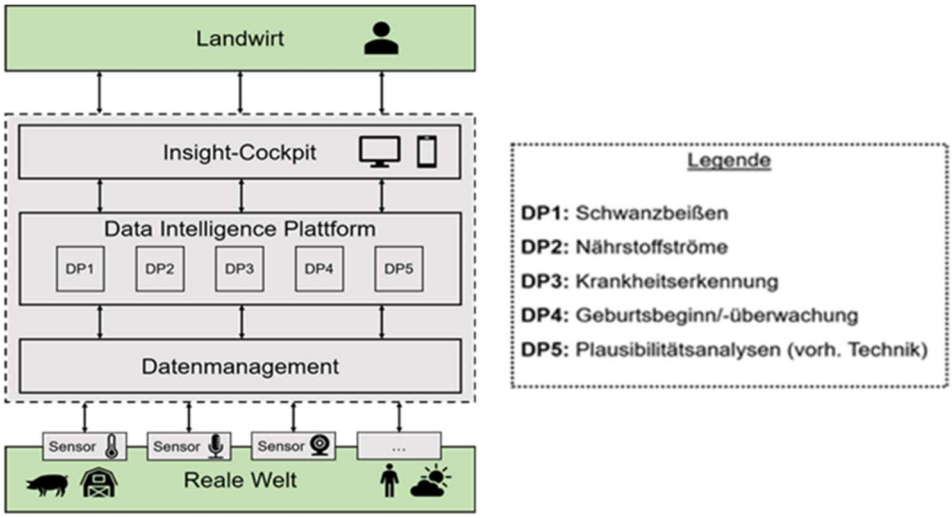


Abb. 2: Schematische Darstellung des Datenflusses innerhalb des Farmmanagementsystems „DigiSchwein“ von der Sensorebene bis zum Systemnutzer

Durch Transformation in ein weitgehend einheitliches Datenformat sowie die anschließend effektive Speicherung und Langzeitarchivierung in einem Big-Data-Archiv sollen die Verwaltung und eigentliche fachliche Nutzung der unterschiedlichen Sensordaten (Analyse) erleichtert werden. Letztere erfolgt auf einer modular erweiterbaren *Data Intelligence Platform* (Abb. 2), wo geeignete analytische Modelle zur Untersuchung, insbesondere der unter 2.1 genannten Anwendungsfälle, entwickelt und validiert werden. Aufgrund der umfangreichen Datenmenge kommen dabei moderne Big-Data-Analyseverfahren des *Machine Learnings* bzw. der *Data Science* zum Einsatz. Ziel ist es, die für den jeweiligen Anwendungsfall erfassten Sensordatenmuster (Istwert) in interpretierbare Kennzahlen und Prognosemodelle, sog. *Data Products*, zu überführen, welche kontinuierlich und in Echtzeit mit dem System bekannten Referenzdatenmustern (Sollwert) abgeglichen und entsprechend bewertet werden.

Das Ergebnis der komplexen Datenanalyse wird dem Systemnutzer in komprimierter, visualisierter Form zur schnellen Erfassung über ein Dashboard (Insight-Cockpit) ausgegeben (Abb. 2). Zweckmäßig ist es, dass sich das Farmmanagementsystem mit seinen *Data Products* leicht in den operativen Management- und Entscheidungsprozess eines Betriebes einfügen lässt. Bei relevanten Abweichungen vom Sollwert erhält der Schweinehalter zudem Warnmeldungen mit Handlungsempfehlungen, die im jeweiligen Anwendungsfall als direkte Entscheidungshilfen zur Optimierung des Betriebsmanagements beitragen sollen.

3 Ausblick

Nach seiner Entwicklung und experimentellen Erprobung auf der Versuchsstation der Landwirtschaftskammer Niedersachsen soll das Farmmanagementsystem „DigiSchwein“ unter Feldbedingungen auf schweinehaltenden Betrieben validiert und anschließend der breiten landwirtschaftlichen Praxis zugänglich gemacht werden (Abb. 2). Der Einsatz dieses sensorbasierten Farmmanagementsystems soll einen nachhaltigen, digitalen Transformationsprozess in der Schweinehaltung anregen, der langfristig durch Optimierung des Tierwohls (Einzeltier vs. Gruppe), des Ressourcenschutzes und der Produktivität die Wettbewerbsfähigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz der Landwirtschaft erhöht.

4 Danksagung

Die Förderung dieses Vorhaben erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen: 28DE109A18). Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Die Projektpartner bedanken sich bei BMEL und BLE für die Förderung.

Literaturverzeichnis

[Be17] Berckmans, D.: General introduction to precision livestock farming. Animal Frontiers, 7/2017, S. 6-11, 2017.

[Be15] Berckmans, D.: Smart Farming for Europe: value creation through precision livestock farming. In (Halachmi, I., Hrsg.): Precision Livestock Farming Applications. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, S. 25-36, 2015.

[BY19] Benjamin, M.; Yik, S.: Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners. Animals, 9/2019, S. 133-153, 2019.

[Gu17] Guarino, M. et al.: A blueprint for developing and applying precision livestock farming tools: A key output of the EU-PLF project. Animal Frontiers, 1/2017, S. 12-17, 2017.

[SB20] Statistisches Bundesamt, Pressemitteilung vom 22.01.2020 www.destatis.de, Wiesbaden, Stand: 22.01.2020.

[St20] Statista GmbH, www.de.statista.com, Stand: 18.10.2020.

[Ti06a] Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 280 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

[Ti06b] Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006 (BGBl. I S. 2043), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 2 des Gesetzes vom 30. Juni 2017 (BGBl. I S. 2147) geändert worden ist.

Experimentierfeld DigiMilch: Digitalisierung in der Prozesskette Milcherzeugung

Isabella Lorenzini[1], Manuel Boppel[1], Franz Worek[1], Stefan Beckmann[2], Jernej Poteko[1], Sophia Sauter[1], Fabian Lichti[3], Stefan Thurner[3], Martin Schäffler[2], Jan Harms[1] und Bernhard Haidn[1]

Abstract: Das Projekt DigiMilch ist eines der 14 durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten digitalen Experimentierfelder. Experimentierfelder sind digitale Testfelder auf Praxisbetrieben, in denen untersucht werden soll, wie digitale Technologien optimal zum Schutz der Umwelt, zur Arbeitserleichterung und zur Steigerung des Tierwohls eingesetzt werden können. Im Experimentierfeld DigiMilch werden anhand von fünf Demonstrationsprojekten alle Arbeitsbereiche eines Milchviehbetriebs in Hinblick auf den Einsatz von digitalen Technologien untersucht.

Keywords: Digitalisierung, Vernetzung, precision livestock farming, precision agriculture

1 Einführung und Problemstellung

Die zunehmende Nutzung digitaler Technologien stellt insbesondere für kleinstrukturierte und familiengeführte Milchviehbetriebe, wie sie in Süddeutschland vorwiegend zu finden sind, eine vielversprechende Entwicklung der Landwirtschaft dar. Aufgrund der hohen Arbeitsintensivität der Milchviehhaltung, des bestehenden Arbeitskräftemangels und der knappen zur Verfügung stehenden Fläche ist zu erwarten, dass die Digitalisierung von Prozessen in der Milcherzeugung zu einer höheren Arbeitseffizienz, mehr Tierwohl und nachhaltigeren Verfahren führt. Zu den wesentlichen Hemmnissen der Verbreitung digitaler Technologien in der Landwirtschaft gehören der hohe Investitionsbedarf, fehlende Entscheidungsalgorithmen, Inkompatibilität, komplizierte Handhabung und fehlendes IT-Know-how [SG18]. Ziel des Experimentfeldes DigiMilch ist es, existierende digitale Lösungen für die Prozesskette Milcherzeugung in familiengeführten Praxisbetrieben zu demonstrieren und auf ihre Eignung anhand von quantitativen und qualitativen Kriterien zu überprüfen, die Einsatzerfahrungen zu erfassen, ggf. bestehende Defizite darzulegen und

[1] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Prof. Dürrwaechter-Platz 2, 85586 Grub, Isabella.Lorenzini@LfL.bayern.de, Manuel.Boppel@LfL.bayern.de, Franz.Worek@LfL.bayern.de, Jernej.Poteko@LfL.bayern.de, SophiaAnna-Maria.Sauter@LfL.bayern.de, Jan.Harms@LfL.bayern.de, Bernhard.Haidn@LfL.bayern.de
[2] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE), Prof. Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Grub, Stefan.Beckmann@LfL.bayern.de, Martin.Schäffler@LfL.bayern.de
[3] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, Fabian.Lichti@LfL.bayern.de, Stefan.Thurner@LfL.bayern.de

gemeinsam mit Software- und Maschinenherstellern sowie landwirtschaftlichen Selbsthilfeeinrichtungen Hinweise für Lösungsansätze zu entwickeln. Ein wesentliches Ziel des Projektes ist, neben der Demonstration von vorhandenen Technologien auf den Betrieben, die Diskussion der Thematik der Inkompatibilität zwischen Technologien mit den Wirtschaftspartnern aus der Agrarbranche und das Aufzeigen der Möglichkeiten bzw. des Potenzials von neuen Verbindungen zwischen Systemen. Aktuelle Studien zeigen, dass Medien überwiegend positiv über die Entwicklungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft berichten [MH20] und dass Verbraucher die Auswirkung der Ausbreitung von digitalen Techniken in der Landwirtschaft positiv bewerten [Pf19]. Eine Ausnahme stellte die Abfrage von Spontanassoziationen zu verschiedenen Technologien im Stall dar; hier wurde eine emotionale Komponente deutlich [Pf19], die die Relevanz von Aufklärungsarbeit zur Digitalisierung in der Landwirtschaft nicht nur in Fachkreisen, sondern auch bei Verbrauchern, hervorhebt. Durch einen systematischen Wissenstransfer werden im Projekt DigiMilch Ergebnisse und Inhalte der einzelnen Demonstrationsprojekte an Landwirte, Akteure der Agrarbranche und an Verbraucher weitergegeben. Der Wissenstransfer findet sowohl über klassische Medien, wie Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Vorträge auf wissenschaftlichen Tagungen sowie Praktiker-/Firmenworkshops, als auch über internetbasierte Medien (LfL-Homepage, Newsletter, Social-Media-Plattformen) statt.

2 Die Demonstrationsprojekte

Die Ziele des Experimentierfeldes DigiMilch werden im Rahmen von fünf Demonstrationsprojekten verfolgt. In diesen werden die zentralen innerbetrieblichen Prozesse Wirtschaftsdüngermanagement, sensorgestützte Ertragsermittlung, Fütterungsmanagement, vernetzte Stalltechnik und tierindividuelle Sensorsysteme abgebildet. Die Datenerfassung auf den ca. 25 Praxisbetrieben erfolgt je nach Demonstrationsprojekt und Fortschritt an unterschiedlichen Zeitpunkten im Laufe des Projektes.

2.1 Demonstrationsprojekt 1 (DP 1) „Wirtschaftsdüngermanagement“

Mit der neuen DüV[4] wird von Landwirten eine exakte und bedarfsgerechte Verteilung von Wirtschaftsdüngern erwartet. Da die Nährstoffgehalte flüssiger Wirtschaftsdünger einer gewissen Variabilität unterliegen [Sc11], ist die Kenntnis der genauen Zusammensetzung der Wirtschaftsdünger für eine exakte und umweltgerechte Düngung unabdingbar. Die Online-Messung der Inhaltstoffe mittels NIRS[5] in der Ausbringtechnik stellt hier möglicherweise einen zukunftsweisenden Ansatz dar. Bisher sind dokumentierte Praxiserfahrun-

[4] Düngeverordnung
[5] Nahinfrarotspektroskopie

gen von Landwirten und Untersuchungen zur Genauigkeit der NIRS Sensoren im Feldeinsatz selten zu finden. Im DP 1 soll die Genauigkeit der Sensoren unter Feldbedingungen überprüft und die Möglichkeiten der Vernetzung und Einbindung dieser Sensoren in FMIS[6] untersucht werden. Zur Überprüfung und zum Vergleich der Sensoren werden mobile NIRS-Stationen in einem Versuchsaufbau in Reihe geschaltet. Als Referenz für die von NIRS-Sensoren gemessenen Werte werden repräsentative Gülleproben entnommen und im Labor untersucht, um die Abweichung der NIRS-Sensoren vom Laborwert einordnen zu können. Ein weiteres Arbeitspaket stellt der Einsatz eines Güllefasses mit NIRS-Sensor auf Praxisbetrieben dar. Dies ermöglicht eine georeferenzierte Dokumentation der Wirtschaftsdüngerausbringung. Dabei soll der Datenfluss zwischen NIRS-Sensor, Güllefass und Schlepper zu einem FMIS untersucht werden. Zusätzlich werden während der Ausbringung Proben für die nasschemische Analyse genommen, um die Genauigkeit der Sensoren im Feldeinsatz zu prüfen.

Erste Einsätze des Versuchsaufbaus und Probennahmen im Feldeinsatz verdeutlichten das Potenzial und den Nutzen von Online-Sensoren zur Wirtschaftsdüngerausbringung. Dennoch zeigten sich zum Teil deutliche Abweichungen mancher Sensoren bei einigen beprobten flüssigen Wirtschaftsdüngern.

2.2 Demonstrationsprojekt 2 (DP 2) „sensorgestützte Ertragsermittlung“

Da Erntegut auf Praxisbetrieben meist nur innenbetrieblich genutzt wird, wird aktuell digitale Technik zur Ertragsermittlung selten eingesetzt. Untersuchungen zeigen aber, dass gerade beim Grünland und Feldfutterbau die Erträge wesentlich stärker schwanken als im Ackerbau [Kö17] und somit in vielen Fällen ein großes Potenzial zur Optimierung der standortbezogenen Bewirtschaftung gegeben ist. Die Ertragsermittlung, insbesondere die Ertrags- und Feuchteermittlung am SFH[7], ermöglicht u. a. eine (teil-) schlagspezifische Bestimmung der Trockenmasseerträge.

Ziel des DP 2 ist es, die Verbreitung der am Markt verfügbaren Techniken für die Erntemengenerfassung im Grünland und Feldfutterbau verschiedener Hersteller sowie die Akzeptanzhemmnisse für den Einsatz dieser Technik in der Praxis zu erfassen. Der Einsatz von SFH mit Ertragserfassung soll unter Feldbedingungen erprobt werden und die Datenanbindung an ein FMIS[8] realisiert und die Übertragungssicherheit untersucht werden. Ferner soll die Aussagekraft der erzielten Ertragskarten bewertet und die Kosten und der Nutzen für die Praxisbetriebe erfasst und bewertet werden. Um die Genauigkeit der Ertrags- und Feuchteermittlung am SFH zu untersuchen werden auf unterschiedlichen Schlägen zu verschiedenen Schnittzeitpunkten einzelne Ladungen verwogen und am Silo repräsentativ

[6] Farm Management Informationssysteme
[7] Selbstfahrender Feldhäcksler
[8] Farm Management Informationssystem

beprobt. Der vom SFH ermittelte TM[9]-Gehalt und FM[10]-Ertrag werden mit Laborergebnissen verglichen, um Rückschlüsse auf die Genauigkeit der Ertragsmessung zu ziehen. Zusätzlich findet eine Überprüfung der Inhaltstoffmessung mittels NIRS-Sensor in Kombination mit nasschemischen Untersuchungen statt. Weiterhin werden die Systeme in Bezug auf die Möglichkeiten bezüglich Datentransfer und -vernetzung untersucht.

Erste Erkenntnisse aus den Referenzmessungen bestätigten oder übertrafen je nach Hersteller die Ergebnisse von Thurner et al. (2011) [Th11], bei denen die Bestimmung der Trockenmassegehalte mit NIRS bei Grasanwelkgut mit einer absoluten Abweichung vom Laborwert im Bereich von -0,97 bis -6,81 Prozentpunkte des TM-Gehalts erfolgte. Auch die Frischmasseerträge werden mittels Feldhäcksler genau erfasst, jedoch sind hierzu regelmäßige Gegenwiegungen bei Schlag-, Kultur- und Reifegradwechsel entscheidend. Erste Auswertungen wiesen auf eine höhere Genauigkeit der Systeme bei der Ernte von Silomais im Vergleich zu Grasanwelkgut hin.

2.3 Demonstrationsprojekt 3 (DP 3) „Fütterungsmanagement“

Für Milchviehbetriebe sind nur digitale Teillösungen mit unzureichender Vernetzung im Bereich Futter- und Fütterungsmanagement verfügbar. Landwirte müssen deshalb die relevanten Daten aus den Futteranalyseergebnissen und der Rationsberechnung auf die Fütterungstechnik manuell übertragen. Wünschenswert sind praxisgerechte, einfache Auswertungstools, um die jährlich verfütterten Mengen an Maissilage oder Grassilage zu erfassen. Für die Futterplanung und die Erstellung von Nährstoffbilanzen (Stall, Feld und Betrieb) würde sich damit die Datenbasis verbessern.

Ziel des DP 3 ist es, ausgewählte am Markt befindliche digital vernetzte Lösungen ausgehend von den Daten der Futteranalyse, den Proben aus dem Silo, der Rationsberechnung mit dem Futterrationsoptimierungsprogramm, der Rationszusammenstellung im Futtermischwagen oder im automatischen Fütterungssystem bis hin zum ausdosierten Futter am Futtertrog auf Praxisbetrieben zu untersuchen.

Derzeit erfolgt im DP 3 die Prüfung der bestehenden Datenflüsse zur Futtermengenaufzeichnung und Rationsplanung. Bestehende Auswertungstools zur Bilanzierung der jährlich verfütterten Futtermengen werden angewendet und geprüft. Begleitend erfolgt ein regelmäßiges Controlling der Ausgangsfutterkomponenten und der Mischrationen.

2.4 Demonstrationsprojekt 4 (DP 4) „vernetzte Stalltechnik“

Automatisierte Geräte können den Landwirt nicht nur bei seiner Arbeit entlasten, sondern bieten weitere Vorteile hinsichtlich der Steigerung des Tierkomforts im Stall und der Optimierung des Energieverbrauchs. Die moderne Technik im Stall nimmt dem Landwirt die

[9] Trockenmasse
[10] Frischmasse

monotonen und belastenden Routinetätigkeiten ab [Sc14]. Dies bedeutet aber, dass sich die Arbeit verändert, indem einerseits die körperliche Arbeit zurückgeht, andererseits der Betreuungsaufwand der Technik ansteigt. An dieser Stelle kommt eine Vernetzung der Stalltechnik in Betracht; mit neuen Ansätzen zur Datenanalyse wie maschinelles Lernen können Entscheidungsalgorithmen entwickelt werden [Co20], die dem Landwirt diese Arbeit erleichtern können.

Ziel von DP 4 ist es, die Anforderungen und den Nutzen der untereinander vernetzten Geräte im Hinblick auf die Entlastung von Landwirten, den Energieverbrauch und den Tierkomfort systematisch zu erfassen und zu bewerten. Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf die Bereiche Stallklima, Energie, Einstreuen, Entmisten, Füttern, Melken und Herdenmanagement. Weiter soll der Nutzen der Vernetzung mit konkreten Beispielen auf den Betrieben demonstriert werden. Derzeit wird der aktuelle Stand der eingesetzten automatisierten und digitalen Technik in der Praxis untersucht. Mittels einer Online-Umfrage der Landwirte soll nicht nur ein Überblick über den Stand der eingesetzten Stalltechnik auf den Milchviehbetrieben gewonnen, sondern auch die relevanten Anforderungen der Anwender an die Technik und Erfahrungen aus der Praxis ermittelt werden. Auf dieser Grundlage können zusammen mit Herstellern neue Lösungen ausgearbeitet werden. Parallel werden die ersten Daten erfasst und praktische Lösungsansätze erprobt.

2.5 Demonstrationsprojekt 5 (DP 5) „vernetzte, tierindividuelle Sensorsysteme“

Die wachsenden Bestandszahlen in Familienbetrieben machen es zunehmend schwieriger, jedes Tier einer Herde individuell betreuen zu können. Am Markt besteht eine Vielfalt an digitalen Systemen, die tierindividuelle Parameter von Milchkühen erfassen und den Landwirt auf Veränderungen aufmerksam machen. Mangelnde Interkompatibilität zwischen den Systemen erschwert das Zusammenführen der Daten verschiedener Systeme und die Analyse auf Einzeltierebene. Die Verknüpfung mehrerer tierindividueller Informationen verschiedenen Ursprungs und die Auswertung mit Hilfe geeigneter Algorithmen könnten die Zuverlässigkeit von Entscheidungshilfen deutlich verbessern und damit die Tiergesundheit steigern.

Ziel des DP 5 ist es, im ersten Schritt den aktuellen Stand der Sensorsysteme auf landwirtschaftlichen Betrieben sowie deren Vernetzungsstand abzubilden. Anschließend soll eine Bewertung und Demonstration der Vernetzung hinsichtlich des Mehrwerts für den Landwirt und die Datenqualität durchgeführt werden. Daneben gilt es aber auch, an den Beispielen Lahmheits- und Hitzestresserkennung die Eignung von Sensordaten unterschiedlicher Hersteller für die Anwendung geeigneter Prognosemodellen zu untersuchen und zu bewerten. In einer bayernweiten Erhebung soll der aktuelle Stand der eingesetzten Sensorsysteme in der Praxis erfasst werden, um zum einen Erfahrungen mit dieser Technik zu ermitteln und zum anderen Anforderungen sowie neue Lösungsansätze zu erarbeiten.

Literaturverzeichnis

[SG18] Schleicher, S.; Gandorfer, M.: Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In 38. GIL Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Gesellschaft für Informatik e.V. Bonn, S. 203-206, 2018.

[MH20] Mohr, S.; Höhler, J.: Öffentliche Meinung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft und ihren Auswirkungen. In 40. GIL Jahrestagung, Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier. Gesellschaft für Informatik e.V. Bonn, S. 187-192, 2020.

[Pf19] Pfeiffer, J.; Gabriel, A.; Gandorfer, M.: Gesellschaftliche Akzeptanz von Digitalisierung in der Landwirtschaft. In 39. GIL Jahrestagung, Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich?. Gesellschaft für Informatik e.V. Bonn, S. 151-154, 2019.

[Sc11] Schmidhalter, U.: N-Düngung— Präzisionsdüngung und Gießkannenprinzip. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Stickstoff in Pflanze, Boden und Umwelt. Deutschen Gesellschaft für Pflanzenzernährung e. V. und der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Verlag Liddy Halm Göttingen, S. 1-6, 2011.

[Kö17] Köhler, B.; Spiekers, H.; Kluß, C.; Taube, F.: Leistungen vom Grünland im Futterbaubetrieb – Analyse auf Betriebsebene unter bayerischen Standortbedingungen. Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft (95) 1, 2017.

[Th11] Thurner, S.; Fröhner, A.; Köhler, B.; Demmel M.: Online measurement of yield and dry matter content of wilted grass with two forage harvesters - comparison with and verification of reference measurements. In Papers Presented at the 8th European Conference on Precision Agriculture 2011, ECPA 2011, S. 628-637, 2011.

[Sc14] Schick, M.: Arbeitswissenschaft. In Jahrbuch Agrartechnik 2013. Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig, S. 1-8, 2013.

[Co20] Cockburn, M.: Review: Application and Prospective Discussion of Machine Learning for the Management of Dairy Farms. Animals, 10, 1690, 2020.

Betriebsleitung und Stoffstrommanagement – Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein (BeSt-SH)

Experimentierfeld Digitalisierung Landwirtschaft

Yves Reckleben [1] und Jan Henrik Ferdinand [2]

Abstract: In den Arbeitsschritten des ersten Projektjahres wurden auf den digitalen Feldern und in den digitalen Ställen der landwirtschaftlichen Testbetriebe jeweils ein Sensornetzwerk (u. a. Wetterstationen, Datenrouter, NIR-Sensoren) etabliert/aufgebaut. Mithilfe einer entwickelten Datenstruktur und zugrundeliegenden Datenbank wurden anschließend in Echtzeit die Prozessdaten innerhalb der landwirtschaftlichen Nährstoff-, Arbeits- und Energiekreisläufe erhoben und ausgewertet. Der Aufbau einer einheitlichen Wissenstransferstruktur mit mehreren Digitalisierungsstufen für einzelne Betriebssegmente dient anschließend im zweiten Projektjahr als zentrales Instrument für den Kompetenzaufbau in der Aus-, Weiter- und Fortbildung der Projektpartner auf Basis der Projektergebnisse. Das virtuelle Stoffstrommodell als digitaler Zwilling dient dabei als interaktive Anwendungsebene zur Darstellung von Praxisleitfäden und zur Implementierung von digitalen Technologien in landwirtschaftliche Betriebe.

Keywords: Digitalisierungsstufen, vernetzte Agrartechnik, digitaler Zwilling, Expertennetzwerk, Wissenstransfer

1 Einleitung

Am 1. Oktober 2019 startete das Experimentierfeld „Betriebsleitung- und Stoffstrommanagement – Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein“ (BeSt-SH). Ziel der fünf Projektpartner (FuE-Zentrum FH Kiel GmbH, CAU Kiel, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, DEULA Rendsburg und Berufsbildungszentrum am Nord-Ostsee-Kanal) ist es, den Weg einzelner Ressourcen im landwirtschaftlichen Kreislauf zu dokumentieren, zu analysieren und zu visualisieren. Hierfür wird ein virtuelles Stoffstrommodell für die Abläufe im Stall und auf dem Feld von dem Projektteam entwickelt. Um spezielle Fragestellungen genauer zu betrachten, kann ein 3D-Hologramm der Betriebs- und Feldkreisläufe direkt ins Klassenzimmer oder Büro projiziert werden. Hierfür sind große Datenmengen notwendig, welche von einer Vielzahl von modernen Sensoren auf landwirtschaftlichen Testbetrieben in Schleswig-Holstein erhoben werden. Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des

[1] Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, yves.reckleben@fh-kiel.de
[2] Forschungs- und Entwicklungszentrum der FH-Kiel GmbH, Schwentinestr. 24, 24149 Kiel, jan-henrik.ferdinand@fh-kiel.de2

Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft mit dem Förderkennzeichen [28DE107A18].

Mit einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Wissenschaft, Bildung, Praxis, Politik und Wirtschaft im Rahmen des Experimentierfelds Schleswig-Holstein erfolgt eine Identifizierung und Beantwortung digitaler Fragestellungen in der Praxis. Hierbei können die Anforderungen und Erfahrungen der fünf landwirtschaftlichen Testbetriebe und zwei Versuchsbetriebe in den unterschiedlichen Naturräumen Schleswig-Holsteins als Grundlage genutzt werden, um einen Wissens- und Technologietransfer in die breite Praxis zu ermöglichen. Die Projektergebnisse sollen in der landwirtschaftlichen Aus- und Weiterbildung in der Berufsschule (BBZ am NOK), in der Fachhochschule (FH Kiel) und an der Universität (CAU Kiel) sowie in der DEULA und der Landwirtschaftskammer genutzt werden, um neue digitale Entwicklungen in der landwirtschaftlichen Praxis zu erklären, bewerten und anschließend in einen aktiven Wissenstransfer zu etablieren.

Durch die ganzheitliche, barrierefreie Abbildung von Arbeits-, Energie- und Nährstoffströmen auf den landwirtschaftlichen Testbetrieben und Feldern mithilfe umfangreicher Soft- und Hardwaresysteme (z. B. Nährstoffkreislauf eines Acker- und Futterbaubetriebs) wird ein herstellerunabhängiges digitales Stoffstrommodell entwickelt. Durch die Einbindung von Buchführungsdaten (u. a. Kosten und Preise) können daraufhin bisherige Tabellenwerte durch reale Werte ersetzt und ökonomische Modelle entwickelt werden. Dies ermöglicht es Anwendern, ihren individuellen Betrieb digital mit einzelnen Modulen nachzubilden und zu visualisieren. Mit einem solchen „digitalen Zwilling“ können betriebliche Fragestellungen detailliert durchdacht und Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Die Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau des Modells.

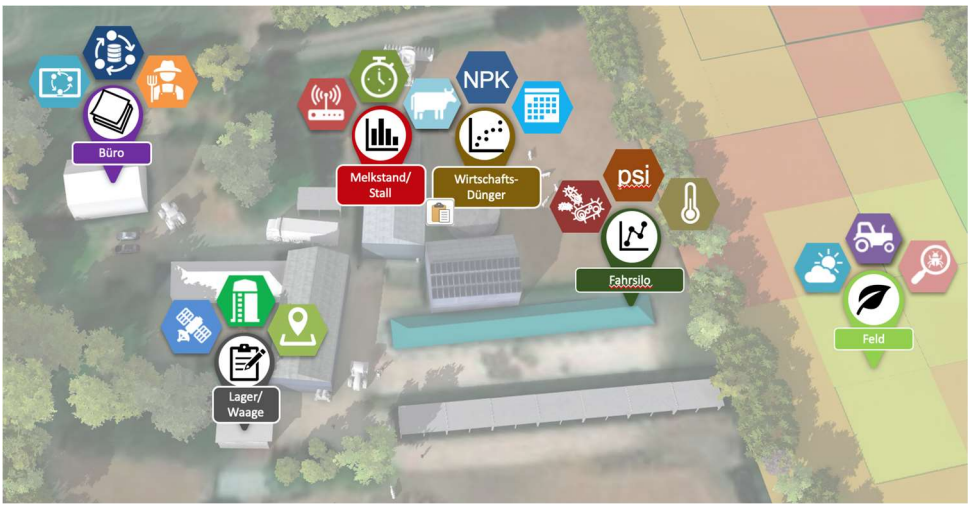


Abb. 1: Beispiel für den digitalen Zwilling eines landwirtschaftlichen Betriebs

Die einzelnen Bereiche gliedern sich dabei in mehrere Unterebenen. Die Detailschärfe und die Qualität der erfassten Informationen all dieser Ebenen werden dabei über die tatsächliche Verwendung in der Praxis auf den landwirtschaftlichen Betrieben entscheiden.

2 Zwischenergebnis

Nach der Ausarbeitung von praktischen Anwendungsfällen im Bereich „Digitales Feld“ und „Digitaler Stall“ sowie der Einbindung von erhobenen Unternehmensdaten der landwirtschaftlichen Testbetriebe wurde die notwendige Technologie auf den Feldern und Landmaschinen installiert. Zur Verarbeitung der generierten Datenmengen stand im ersten Projektjahr vor allem der Aufbau einer technischen Infrastruktur im Fokus. Ziel war es dabei, automatische Datenflüsse zu realisieren, um den hohen Aufwand durch einen manuellen Import von Datenpaketen durch das Projektteam zu verringern. Aus den definierten Anwendungsfällen der einzelnen Testbetriebe wurden anschließend erste Datenanforderungen abgeleitet und die Datenbank stückweise mit den Projektdaten gefüllt. Zu den Datenquellen gehörten neben den fünf Wetterstationen über 15 Telemetriemodule auf den Landmaschinen (u. a. Traktoren, Mähdrescher, Feldhäcksler) mit den entsprechenden Anbaugeräte- und Fahrer-Beacons (Hardware zur automatischen Erkennung von Anbaugeräten und Fahrern durch die Telemetriemodule), die Simulationsdaten des Pflanzenwachstumsmodells der Firma Vista Geo, Geodaten des Landesvermessungsamtes und des LLUR, die Vernetzung von Melkstand, Futtermischwagen und Fuhrwerkswaage sowie die Messdaten der eingesetzten Messsensorik (u. a. NIRS-Sensor).

Für den Wissenstransfer wurde ein Großteil der landwirtschaftlichen Arbeiten auf den Testbetrieben mit der Videokamera begleitet. Die Aufnahmen dienen im zweiten Projektjahr der Ausarbeitung von kurzen Videos für die Ausarbeitung der Wissenstransfermaterialien und zur Außendarstellung. Neben der Erstellung herkömmlicher 2D-Videos kommt dabei vor allem Virtual- und Augmented Reality zur Anwendung. So wird es im Rahmen des Projektes möglich sein, virtuell z. B. das Melken der Kühe oder die Düngerapplikation auf dem Traktor zu begleiten sowie ein Hologramm einer Landmaschine und eines Feldes im Klassenzimmer zu betrachten. Monatliche Artikel des Bauernblatts Schleswig-Holstein beleuchteten im gesamten ersten Projektjahr die allgemeinen Themenbereiche der Digitalisierung. Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurde eine Projekt-Homepage entworfen (www.best-sh.de), über welche sämtliche Zeitungsartikel sowie Projektergebnisse abrufbar sind. Über die LinkedIn-Seite von BeSt-SH kann sich der interessierte Stakeholder mit den Projektpartnern vernetzen und diskutieren.

Die anfänglich im Projekt wahrgenommene Abstraktheit von Datenarchitekturen und digitalen Lösungen in der landwirtschaftlichen Praxis zeigt, dass eine regelmäßige Kommunikation mit den landwirtschaftlichen Testbetrieben und dem Projektteam Priorität haben muss. Die Umsetzung von fachlich beschriebenen Strukturen in technische Systeme ist häufig um ein Vielfaches schwerer als gedacht, und erst die visuelle Darstellung von erhobenen Daten verdeutlicht den Mehrwert der eingesetzten Technologie. Es ist wichtig, dass die landwirtschaftlichen Anwender:innen den Nutzen im Einsatz der Technologien verstehen. Dabei müssen schon vor betrieblichen Investitionsentscheidungen praktische Fragestellungen definiert sein, um erfolgreiche technische Umsetzungen sicherzustellen. Ungeachtet der Aus- und Weiterbildungsinstitution (BBZ, FH, Uni) bleiben die grundlegenden Fragestellungen dabei gleich. Das Kompetenzlevel des Anwenders bzw. die Komplexität der betrieblichen Fragestellung definieren dabei die einzusetzende Technologie – nicht andersherum.

Nicht jeder generierte Datensatz durch die eingesetzten Technologien ist auch tatsächlich uneingeschränkt für die Auswertung nutzbar. Bei der Verarbeitung von Rohdaten gilt es, statistische Grundlagen zu beachten, um plausible Datensätze zu generieren. Je nach Auflösungsstufe der praktischen Fragestellung (z. B. Feldebene oder Teilfläche) kann eine fehlerhafte Datenverarbeitung zu ungenauen bis hin zu unbrauchbaren Ergebnissen führen. Wichtig ist daher, klare Workflows für die Arbeit mit Rohdaten zu nutzen.

3 Wissenstransfer

Die Förderrichtlinie des BMEL zu den Experimentierfeldern erfordert die Vernetzung der Experimentierfelder untereinander hinsichtlich der Entwicklung, Erprobung und dem Praxistransfer von digitalen Infrastrukturen und deren Anwendungen. Dabei liegt der besondere Fokus auf einem nachhaltigen Aufbau eines gemeinsamen Wissenstransfers. Hierfür besteht bereits eine enge Zusammenarbeit mit dem Experimentierfeld „Südwest“

in Rheinland-Pfalz. Das gemeinsame Ziel ist es, fundiertes Wissen frei zugänglich mithilfe einer gemeinsamen Wissenstransferplattform zur Verfügung zu stellen.

In der heutigen Agrarwirtschaft besteht die große Herausforderung, die Möglichkeiten der Digitalisierung und den daraus resultierenden Nutzen für die landwirtschaftlichen Betriebe mit ihren unterschiedlichen Produktionsbereichen herauszustellen. Da die Digitalisierung kein eigener Fachbereich ist, sondern vielmehr Bestandteil aller landwirtschaftlichen Aufgabenfelder, gilt es, diese zu Anfang auszuformulieren. Der Pflanzenbau und die Tierhaltung sowie allgemeine Bereiche wie u. a. die Buchführung und Lagerhaltung im Experimentierfeld Schleswig-Holstein werden ergänzt um die Bereiche Obst-, Gemüse-, Weinbau und Imkerei aus dem Experimentierfeld Südwest in Rheinland-Pfalz. Grundsätzlich werden diese in einzelne Teil-Segmente aufgeteilt, sodass sich beispielsweise für den Pflanzenbau die Betriebssegmente wie z. B. Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung ergeben. Für eine digitale Einordnung müssen die Betriebssegmente in einzelne Teil-Segmente differenziert werden. Hierzu wird der Pflanzenbau beispielsweise in „Prozess & Dokumentation“, „Begleitinformationen“, „Entscheidungsunterstützung“ und „Gesetzliche Rahmenbedingungen“ gegliedert. Die Digitalisierung ist auf den landwirtschaftlichen Betrieben innerhalb dieser Segmente sehr unterschiedlich ausgeprägt. Von Betrieben mit händischer Dokumentation und manueller Maschinenkonfiguration bis hin zu automatischer Dokumentation und vollautomatischer Maschinenkonfiguration ist alles vertreten. Um die Landwirte zielgerecht auf ihrem Stand der Digitalisierung abzuholen und ihnen explizit die Möglichkeiten zur digitalen Entwicklung aufzuzeigen, müssen Digitalisierungsstufen definiert werden. Daher werden je Teil-Segment jedes Betriebssegmentes drei Digitalisierungsstufen benannt. Aus diesen Digitalisierungsstufen werden Technik- und Datenanforderungen abgeleitet und eine mögliche Anwendungsebene dargestellt. Diese entstehende Matrix, die durch unterschiedliche Betrachtungsrichtungen spezifisch gefiltert werden kann, wie z. B. aus der pflanzenbaulichen Sicht, hinsichtlich der Technik- oder Datenanforderungen, ist als Schema in Abbildung 2 dargestellt.

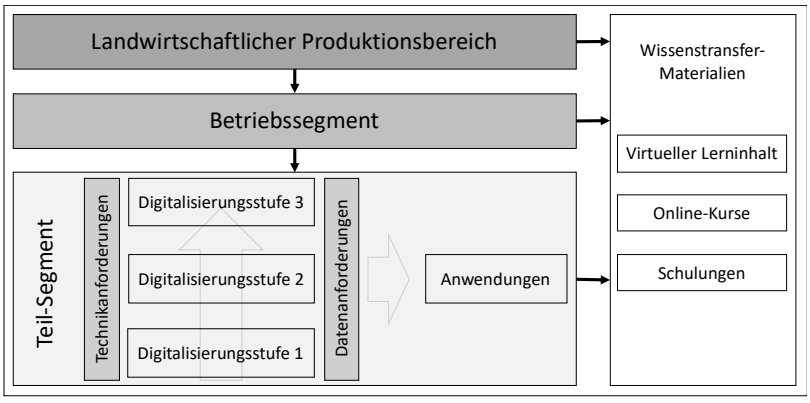


Abb. 2: Einheitliche Wissenstransfer-Plattform

Um diese Struktur mit fundiertem Wissen zu hinterlegen, werden zu den Teil-Segmenten und Digitalisierungsstufen Wissenstransfer-Materialien konzipiert, welche zukünftig frei zur Verfügung stehen sollen. Ziel ist es, akkumuliertes Wissen in Form von Online-Kursen, Schulungen und virtuellen Lerninhalten anzubieten. Hierfür soll das virtuelle Stoffstrommodell, also der digitale Zwilling eines landwirtschaftlichen Betriebes entsprechende Inhalte bereitstellen und interaktiv erlebbar machen.

4 Ausblick

Nach dem erfolgreichen Aufbau der technischen Architektur des Experimentierfeldes und der Vernetzung einer Vielzahl an Maschinen und Sensoren folgt nun die Auswertung der erhobenen Daten zusammen mit den landwirtschaftlichen Testbetrieben unter Einbezug der definierten praktischen Anwendungsfälle und Problemstellungen. Dabei soll die Frage geklärt werden, wie komplex die Digitalisierung in den einzelnen Betriebssegmenten (z. B. Buchführung, Ackerschlagkartei, Düngung oder Pflanzenschutz) sein kann und welche notwendige Datenaufbereitung und -auswertung sich daraus ableiten lassen. Hierfür ist zusätzlich geplant, einzelne Expertenkreise für die jeweiligen Fachbereiche einzuberufen, um die komplexen Fragestellungen aus allen Blickwinkeln zu betrachten, Daten- und Technologieanforderungen zu definieren und notwendige Wissenstransfermaterialien abzuleiten. Im zweiten Projektjahr folgt eine weitere Artikelserie im Bauernblatt Schleswig-Holstein, in der praktische Fragestellungen zu einzelnen Betriebssegmenten mit digitalen Lösungsansätzen beantwortet werden. Des Weiteren dienen die Betriebsnetzwerke der Experimentierfelder, welche sich aus interessierten Betrieben zusammensetzen, zur Erprobung und Diskussion der Struktur in der Praxis. Das anschließende Coaching-Programm mit den Praxisleitlinien soll so aufgebaut werden, dass auch die Betriebe, die ggf. nur einzelne digitale Lösungen nutzen möchten, individuell unterstützt werden können. Analysen der Erkenntnisse aus dem Coaching-Prozess, der sowohl individuell auf ausgewählten Betrieben als auch in Gruppen erfolgt, dienen der Identifikation von Hindernissen der Wissenstransfer-Struktur und digitaler Systemlösungen.

Langfristig entsteht aus dem Experimentierfeld eine barrierefreie, digitale Infrastruktur, die mit allen Experimentierfeldern kompatibel ist und so eine vereinheitlichte, interoperable Forschungsdatenbank bilden kann. Diese kann nicht nur gemeinsame Forschungsstrategien bündeln, sondern vor allem die Lerninhalte und -Methoden in der Bildung als auch Aus- und Weiterbildung erweitern, und das über die geförderte Projektlaufzeit hinaus.

EXPerimentierfeld zur datengetRiebenen VErnetzung und DigitaliSierung in der LandwirtSchaft (EXPRESS)

Ingolf Römer[1], Martin Schieck[1], Hannes Mollenhauer[2], Rikard Graß[2], Silvia Krug[3], Juliane Welz[4] und Valentin Knitsch[4]

Abstract: Eine kaum zu überblickende Flut digitaler Technologien verspricht die Versöhnung von Ökonomie und Ökologie, ausgerichtet am Leitbild einer hocheffizienten Landwirtschaft, die gleichzeitig Umwelt und Biodiversität schützt. Auch in den Bereichen Pflanzenbau und Sonderkulturen bieten viele Hersteller von Agrartechnik entsprechende Technologien an. Die potenziellen Lösungsansätze umfassen Drohnen, Sensorik und Datenintegration. Gerade kleine und mittlere Betriebe stehen vor der Frage, welche Verfahren am besten zum eigenen Bedarf passen und ob sie ihre Versprechungen in der Praxis auch halten. Diesen und weiteren Fragen gehen wir mit dem Experimentierfeld EXPRESS nach.

Keywords: Digitalisierung, Landwirtschaft, Drohnen, Sensorik, Virtuelle Realität, Datenintegration, Wissenstransfer

1 Einleitung

Aktuell erheben Agrarunternehmen verschiedenste Daten, um Informationen über den Bodenzustand, die Entwicklung von Pflanzen, Schädlingsbefall oder die voraussichtlichen Erträge zu erhalten. Grundlage dafür sind oftmals manuelle Erhebungen (z. B. Bodenproben, Zählungen, Blattanalysen) und Laboruntersuchungen. In den letzten Jahren ist ein Trend in Richtung automatisierter Datenerhebung durch Landmaschinen zu beobachten und zahlreiche Anbieter offerieren entsprechende Dienste. Vorhandene Modelle und Algorithmen aus der Umweltforschung werden aber kaum für Analysen genutzt. Die Optimierung der Analysen durch Kombination von neuen KI- und Augmented- und Virtual-Reality (AR/VR)-Technologien, einem dezentralen Datenmanagement und der Vernetzung von Geräten und Anwendungssystemen innerhalb landwirtschaftlicher Betriebe sowie entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind die zentrale Herausforderung. Es entstehen neue innovative Geschäftsmodelle entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette, welche zielgenau in die Praxis eingepasst werden müssen. Um die Potenziale vernetzter digitaler Technologien als Wegbereiter für

[1] Universität Leipzig - Institut für Wirtschaftsinformatik, Grimmaische Straße 12, 04109 Leipzig — [roemer, schieck]@wifa.uni-leipzig.de
[2] Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ — [hannes.mollenhauer, rikard.grass]@ufz.de
[3] IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH (IMMS GmbH), Ehrenbergstraße 27, 98693 Ilmenau, Germany — silvia.krug@imms.de
[4] Fraunhofer Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW, Neumarkt 9-19, 04109 Leipzig — [juliane.welz, valentin.knitsch]@imw.fraunhofer.de

einen nachhaltigen und effizienten Pflanzenbau im Bereich der Sonderkulturen zu erproben, werden im Rahmen von EXPRESS in fünf thematischen Schwerpunkten verschiedene marktreife digitale Technologien im Praxiseinsatz getestet und weiterentwickelt. Die einzelnen Schwerpunkte werden in den folgenden Kapiteln kurz beschrieben.

2 Schwerpunkte und Lösungen

Allen fünf thematischen Schwerpunkten ist dabei ein einheitlicher systemischer Zusammenhang gemein. Daten müssen erfasst (Monitoring), zusammengeführt und ausgewertet (Datenintegration) werden sowie abschließend die abgeleiteten Informationen dem Landwirt bereitgestellt werden (Wissenstransfer). Diese Schritte (siehe Abb. 1) sind für die Erzeugung von digitalen Lösungen maßgeblich.

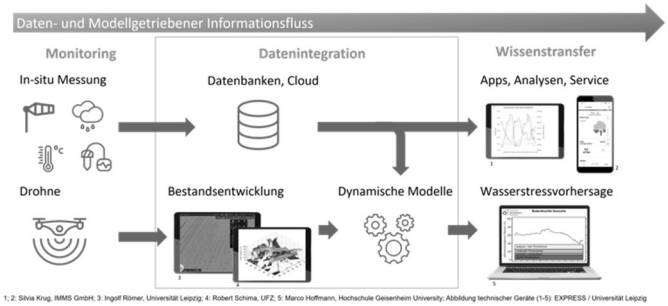


Abb. 1: Von der Sensorik zur Handlungsempfehlung

2.1 Automatische Überwachung von abiotischen Parametern

Pflanzenwachstum und -gesundheit werden durch verschiedene Umgebungsbedingungen beeinflusst. In diesem Schwerpunkt untersuchen wir, wie verschiedene abiotische Parameter möglichst automatisch überwacht werden können. Dabei geht es zum einen um die Erfassung von Wetterdaten lokal am Schlag und zum anderen um die kleinräumige Überwachung von Klima-, Pflanzen- und Bodenfaktoren auf repräsentativen Teilflächen. Ziel ist es, mit einem lokalen Messnetz die wesentlichen Parameter zu erfassen und in einer Cloud als Input für die Modellbildung (siehe Abschnitt 2.2) oder für weitere Analysen bereitzustellen. Neben Sensoren werden Optionen zur Datenübertragung untersucht. Letzteres beinhaltet die Anwendung von Daten-Loggern, lokalen Ad-hoc-Netzen sowie mobilen Datensammlern. Auch RFID-basierte Sensoren werden untersucht und Konzepte zu deren Einsatz in der Landwirtschaft erarbeitet. Bei ersten Tests zeigte sich, dass die meisten am Markt verfügbaren RFID-Sensoren nicht ohne weiteres eingesetzt werden können. Vor allem die geringe Lesereichweite hat sich hier neben einem passiven Mitloggen der Werte als Nachteil herausgestellt. Für ein System mit

Echtzeitübertragung (z. B. um auf Temperaturänderungen zu reagieren) sind diese Sensoren nicht geeignet. Klassiche Ad-Hoc-Netze verfügen über eine bessere Reichweite, benötigen aber eine ausreichende Netzabdeckung. Dies kann insbesondere bei großen Flächen, auf denen nur wenige Messpunkte benötigt werden, nachteilig sein, da dann ggf. zusätzliche Knoten zur Weiterleitung der Daten benötigt werden. Deshalb ist geplant, auch Technologien mit großer Reichweite (LoRa, 5G) in die Erprobung aufzunehmen. Ziel ist eine modulare Sensornetzplattform, die sich an die gegebenen Bedingungen vor Ort anpassen lässt.

Der Vergleich unterschiedlicher Wetterstationen direkt am Schlag in der Global Change Experimental Facility (GCEF) in Bad Lauchstädt und ein Abgleich mit Stationen des Deutschen Wetterdienstes in unmittelbarer Nähe zum Messort sowie in 5-10 km Entfernung zeigte bereits deutlich, dass insbesondere Niederschlag lokal erfasst werden sollte.

2.2 Skalenübergreifendes Wasserstress-Monitoring

In den letzten Jahren nehmen Ertrags- und Qualitätseinbußen aufgrund von Trockenheit im bundesdeutschen Pflanzenbau zu. Mit einer Zunahme dieser Tendenz durch den prognostizierten Klimawandel ist zu rechnen. Die Erkennung einer optimalen Wasserversorgung der Pflanzenbestände stellt eine große Herausforderung für landwirtschaftliche Betriebe dar. Allerdings mangelt es an Verfahren zur genauen, kontinuierlichen, ressourceneffizienten, in-situ Messung der Wasserstressintensität. Einen vielversprechenden Lösungsansatz zum Wasserstress-Monitoring verspricht die kontinuierliche in-situ Messung des Wasserpotenzials in Pflanze und Boden in Kombination mit Prognosemodellen zum Wasserfluss in der Pflanze [SDL08]. Sie ermöglichen pflanzenbasierte Verfahren zur Bewässerungsplanung [Fe17, Gu17]. Ein modellbasiertes Precison-Farming-System benötigt darüber hinaus ein integriertes Modellsystem, welches die verschiedenen beim Anbau von Sonderkulturen relevanten Prozesse miteinander verknüpft. Im Rahmen von EXPRESS wurde ein skalenübergreifendes System konzipiert, dass ein adaptives Monitoring relevanter Wasserstressindikatoren erlaubt und verschiedene Daten zur kurz- und mittelfristigen Prognose der Bewässerung integriert. Dieser daten- und modellgetriebene Informationsfluss (siehe Abb. 1) wird auf verschiedenen landwirtschaftlichen Flächen im Obst-, Wein- und Ackerbau erprobt.

Für EXPRESS bieten die 50 Versuchsparzellen der GCEF in Bad Lauchstädt Gelegenheit, die Potenziale neuer Technologien unter verschiedenen Voraussetzungen zu erproben und ein neuartiges Wasserstress-Monitoring-System zu testen.

2.3 Foodtracing – Nachvollziehbarkeit in der Lebensmittelproduktion

Neben den bereits vorgestellten agronomisch geprägten Lösungen werden von landwirtschaftlichen Erzeugern zunehmend Transparenz und Nachvollziehbarkeit in der

Lebensmittelproduktion verlangt. In diesem Kontext hat EXPRESS als Challengegeber des Leipzig-Wirkt-Hackathons zum Entstehen des Vorhabens lefoodie beigetragen. Während der Projektlaufzeit bietet Express interessierten Erzeugern einen Einblick, wie Transparenz mithilfe digitaler Methoden geschaffen werden kann. So werden in diesem Zusammenhang landwirtschaftliche Akteure und gastronomische Einrichtungen vernetzt und ein Meinungsaustausch angeregt. In den kommenden Jahren sollen weitere digitale Lösungen aufgezeigt und evaluiert werden, die einen transparenten Entstehungsprozess landwirtschaftlicher Erzeugnisse vom Feld bis auf den Teller für Konsumenten ermöglichen.

Darüber hinaus sind weitere agronomisch geprägte Anwendungsfälle, wie u.a. die Dokumentation von Pflanzenschutzmaßnahmen, geplant und sollen auf den Experimentierfeldern Weingut Schloss Proschwitz und Obstland Dürrweitzschen AG erprobt werden.

2.4 Virtual und Augmented Reality im Spezialpflanzenbau

Die Zunahme der Leistungsfähigkeit von Headsets für Virtual Reality und mobilen Datenbrillen für Augmented Reality sowie die gleichzeitig sinkenden Anschaffungskosten ermöglichen den Einsatz der Technologie auch in landwirtschaftlichen Betrieben. Im Rahmen von EXPRESS werden drei Lösungsansätze evaluiert, um Handlungsempfehlungen in Abhängigkeit der Struktur von Landwirtschaftsunternehmen sowie des Reifegrades der untersuchten Technologien abzuleiten. Die folgenden drei Lösungsansätze werden durch übergreifende Evaluationen zu Datenerzeugung, Datenübermittlung und Datennutzung sowie dem möglichen Einführungszeitraum im Betrieb gegenübergestellt. Außerdem wird betrachtet, ob jeweils betriebsintern Expertise aufgebaut werden muss oder externe Servicedienstleister zur Wertschöpfung integriert werden können. Der erste Anwendungsfall beleuchtet die Betriebssteuerung durch datengetriebene Entscheidungen und Fernzugriff: Ermöglicht der Einsatz von VR Zeitersparnis bei gleichbleibender Entscheidungsqualität? Unterstützt der Einsatz von AR eine schnellere und validere Entscheidungsfindung? Ein zweiter Anwendungsfall untersucht Schulungsszenarien für Arbeitsgänge über Bewegungsaufzeichnung und haptisches Feedback: Kann die Arbeitslast von Mitarbeitenden durch Trainingsszenarien gezielt gesteuert werden? Letztlich zielt der dritte Anwendungsfall auf die Unterstützung der Marketing- und Vertriebsaktivitäten: Mit welchem Aufwand gelingt die Aufnahme nutzbarer Szenarien? Über welche neuen, digitalen VR/AR-Vertriebskanäle erreichen aufgenommene Szenarien den Kunden?

Auf den Weinbergen des Weinguts Schloss Proschwitz wird dabei unter anderem der Einsatz von 360°-Kameras in Terrassen- und Steilhanglagen erprobt. Mit spezialisierten Managementsystemen ausgestattet, sind diese dazu in der Lage, einen virtuellen Gang durch den Schlag zu ermöglichen, den Zustand der Reben zu beurteilen und Entscheidungsgrundlagen für das Bestandsmanagement zu liefern.

2.5 Management heterogener Datenquellen

Die Nutzung von Satellitendaten ist in der Landwirtschaft bereits weit verbreitet. Ein Traktor mit GPS-Empfänger und Korrektursignal kann dank Lenkhilfen und Spurführung auf bis zu zwei Zentimeter genau gesteuert werden. Hierdurch lassen sich in Verbindung mit geeigneten Anbaugeräten Betriebsmittel präzise und ohne Überlappung auf oder in den Boden bringen. Dies gilt auch für die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen. Dadurch können Betriebsmittel eingespart, die Umwelt geschont und Kosten gesenkt werden. Entsprechende Technologien sind im Ackerbau Stand der Technik. Eine breite Nutzung in Raumkulturen ist jedoch noch nicht erkennbar. Im Rahmen von EXPRESS wird daher evaluiert, inwiefern die im Ackerbau etablierten Technologien Einzug in die Betriebe der Sonderkulturen finden können. Der Einsatz von Drohnen zur Datenerhebung und Ausführung von Pflanzenschutzaufgaben wird dabei sowohl regulatorisch vorbereitet als auch operativ begleitet. Die Möglichkeiten der Integration in die betriebsspezifische IT-Systemlandschaft der Unternehmen und Nutzung vom Mehrwertdiensten werden begleitend betrachtet (siehe Abb. 1).

In Zusammenarbeit mit der Obstland Dürrweitzschen AG wird der Einsatz teilautonomer Landmaschinen evaluiert, die für sich wiederholende Arbeitsgänge genutzt werden könnten. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Schädlingsbekämpfung im Obstbau. Eine Lösung könnten moderne Kamerasysteme bieten, die den Schädlingsbefall schon früh erkennen und zielgerichtete Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Pflanzen ermöglichen.

3 Wissenstransfer- und Kooperationsstrategie

Die Praxis zeigt, dass groß angelegte Forschungsprojekte mit vielfältig involvierten Akteuren insbesondere bei umweltpolitischen Fragestellungen ein angemessenes Fingerspitzengefühl hinsichtlich der Wahrnehmung und Integration konkurrierender Interessen erfordern [Re09]. Vor diesem Hintergrund werden die einzelnen Schwerpunkte in EXPRESS durch eine übergeordnete Wissenstransfer- und Kooperationsstrategie begleitet. Diese ist sowohl auf externe Partner und die interessierte Öffentlichkeit gerichtet als auch auf die Stärkung der (internen) Transferkapazität der Forschungspartner. Die Methoden des Kooperations- und Transferprozesses sind von Beginn an in EXPRESS eingebunden und als rekursiver Prozess der Wissenserzeugung konzipiert [Re08]. Das Wissenstransferkonzept verbindet eine interne Wissenstransferstrategie mit einer externen, verwertungsorientierte Kommunikationsstrategie. Diese beiden Elemente sind miteinander verwoben, nutzen und verzahnen die Erkenntnisse aus den fünf Schwerpunkten.

Im Rahmen der internen Wissenstransferstrategie wurde zunächst eine gemeinsame Vision und ein normatives Zukunftsbild für EXPRESS erarbeitet. Das normative Zielbild stellt eine wünschenswerte Zukunft aus der Perspektive der unterschiedlichen Stakeholder dar, welche in Form von Visionen qualitativ beschrieben wird und unbelastet ist von den

Problemen und Zwängen der Gegenwart. An dieses normative Zukunftsbild schließt sich ein partizipativer Backcasting-Prozess an, mit dem Ziel, die Robustheit ausgewählter Maßnahmen und Strategien in den fünf Schwerpunkten zu testen und die Folgen strategischer Entscheidungen hervorzuheben. Begleitende vertiefende sozioökonomische Studien vertiefen das Wissen um die Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft und geben Hinweise auf weitere relevante Forschungsfelder. Am Ende der Projektlaufzeit ermöglicht ein retrospektiver Ergebnisworkshop, die erarbeitete Vision und das normative Zielbild basierend auf den Erkenntnissen aus den Technologieprojekten erneut zu spiegeln.

Informationen, Erkenntnisse und Ergebnisse, die sich aus den fünf Schwerpunkten ergeben, bilden den Grundstein für die externe, verwertungsorientierte Kommunikationsstrategie. Je nach Akteursgruppe (Stakeholder) werden unterschiedliche Kanäle und Formate für die Kommunikation genutzt. Neben einer Webseite und der regelmäßigen Aussendung eines Newsletters wird für die effektive Zielgruppenansprache Instagram als relevantes Kommunikationsmedium genutzt. Darüber hinaus unterstützen öffentlichkeitswirksame Aktivitäten, wie z. B. Dialogformate, offene Werkstätten und Messeauftritte, die Außenkommunikation. Ein mobiler Erlebnisraum ermöglicht landwirtschaftlichen Akteuren auf Tuchfühlung mit den digitalen Technologien vor Ort zu gehen.

Acknowledgements Die Förderung des Vorhabens EXPRESS erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Förderung der Digitalisierung in der Landwirtschaft mit dem Förderkennzeichen FKZ 28DE102A-D18.

Literaturverzeichnis

[Fe17] Fernández, J. E.: Plant-based methods for irrigation scheduling of woody crops.Horticulturae 3/2, S. 35, 2017.

[Gu17] Gu, Z.; Qi, Z.; Ma, L.; Gui, D.; Xu, J.; Fang, Q.; Yuan, S.; Feng, G.: Developmentof an irrigation scheduling software based on model predicted crop water stress.Computers and Electronics in Agriculture 143/, S. 208–221, 2017.

[Re08] Reed, M. S.: Stakeholder participation for environmental management: A litera-ture review. Biological Conservation 141/10, S. 2417–2431, 2008.

[Re09] Reed, M. S.; Graves, A.; Dandy, N.; Posthumus, H.; Hubacek, K.; Morris, J.;Prell, C.; Quinn, C. H.; Stringer, L. C.: Who's in and why? A typology ofstakeholder analysis methods for natural resource management. Journal ofenvironmental management 90/5, S. 1933–1949, 2009.

[SDL08] Steppe, K.; De Pauw, D. J.; Lemeur, R.: A step towards new irrigation schedu-ling strategies using plant-based measurements and mathematical modelling.Irrigation Science 26/6, S. 505, 2008.

AgriSens – DEMMIN 4.0

Einsatz von Fernerkundungstechnologien für die Digitalisierung im Pflanzenbau

Daniel Spengler[1], Sarah Asam[2], Falk Boettcher[3], Erik Borg [4], Eike Stefan Dobers[5], Ursula Geßner[2], Katharina Harfenmeister[1], Christian Hüttich[6], Friederike Klan[7], Mike Teucher[8], Sina Truckenbrodt[9] und Christopher Conrad[8]

Abstract: Die Digitalisierung der Landwirtschaft schreitet seit einigen Jahren immer weiter voran, wird aber in Deutschland noch nicht im großen Maßstab in landwirtschaftlichen Betrieben umgesetzt. Im Bereich der Geodatennutzung liegen die Herausforderungen vor allem bei der unzureichenden Definition von Schnittstellen sowie in einem mangelnden Daten- und Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis. Hier setzt das Projekt „AgriSens – DEMMIN 4.0“ an, das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen der digitalen Experimentierfelder gefördert wird. Methoden zur Nutzung von Geodaten, insbesondere Fernerkundungsdaten, im Pflanzenbau werden analysiert und neu entwickelt und in konkreten Anwendungsfällen wie Ertragsabschätzung oder teilschlagspezifische Bewässerung dem Landwirt nutzbar gemacht.

Keywords: Digitalisierung, Experimentierfelder, Pflanzenbau, Fernerkundung

1 Einleitung

Die Landwirtschaft steht im Zuge des globalen Wandels vor zahlreichen Herausforderungen wie dem Klimawandel, der räumlich-zeitlichen Verfügbarkeit von

[1] Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion Fernerkundung und Geoinformatik, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, daniel.spengler@gfz-potsdam.de, katharina.harfenmeister@gfz-potsdam.de
[2] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Abteilung Landoberfläche, Münchner Straße 20, 82234 Weßling, sarah.asam@dlr.de, ursula.gessner@dlr.de
[3] Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Agrarmeteorologie, Kärrnerstraße 68, 04288 Leipzig, Falk.Boettcher@dwd.de
[4] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Nationales Bodensegment, Kalkhorstweg 53, 17235 Neustrelitz, Erik.Borg@dlr.de
[5] Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften, Brodaer Straße 2, 17033 Neubrandenburg, dobers@hs-nb.de
[6] Julius-Maximilians-Universität Institut für Geographie und Geologie, Oswald-Külpe-Weg 86, 97074 Würzburg, christian.huettich@uni-wuerzburg.de
[7] Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Datenwissenschaften, Bürgerwissenschaften, Mälzerstraße 3, 07745 Jena, friederike.klan@dlr.de
[8] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle (Saale), christopher.conrad@geo.uni-halle.de, mike.teucher@geo.uni-halle.de
[9] Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geographie, Grietgasse 6, 07743 Jena, sina.truckenbrodt@uni-jena.de

Wasserressourcen und der Veränderung von Ökosystemen sowie dem zunehmenden Nahrungsmittelbedarf aufgrund der steigenden Bevölkerungszahl bei gleichzeitiger Verknappung der landwirtschaftlichen Flächen. Effiziente und nachhaltige Lösungen zur Anpassung an die Auswirkungen des globalen Wandels sind daher von zentraler Bedeutung. Die Digitalisierung der Landwirtschaft bietet dabei die Chance, Prozesse zu optimieren und zu automatisieren, stellt die Landwirte aber auch vor Herausforderungen.

Zahlreiche Projekte dokumentieren den hohen Bedarf und den ökonomischen Effekt aktueller satelliten- und luftgestützter Informationsprodukte in der Landwirtschaft. Wesentliche Mängel sind dabei allerdings das Fehlen von Workflows zwischen Wissenschaft und Praxis sowie nicht hinreichend spezifizierte Schnittstellen zwischen Datenquellen, Landwirt und Maschine [DL18]. Methodische Herausforderungen stellen vor allem die Robustheit der Verfahren, der Umgang mit Multisensordaten, Standards hinsichtlich der Datenqualität und der Vertrauenswürdigkeit wissenschaftlicher Modelle sowie deren zeitliche und räumliche Übertragbarkeit dar. Auch die offene und lösungsorientierte Kommunikation mit den Landwirten bezüglich Potenzialen und Limitationen ist stark defizitär. Auf Seiten der Landwirte fehlt oft ein Bewusstsein für den Mehrwert der Daten, von Seiten der Wissenschaft hingegen fehlt die Bereitstellung einfach verständlicher Dateninterpretationen. Technische Fragen bezüglich des Datenmanagements, der Nutzerfreundlichkeit, der Datenintegrität und des Datenschutzes sowie hohe Investitionskosten stellen weitere Einstiegshürden dar [Ba19]. Es zeigt sich jedoch auch, dass praktizierende Landwirte neuen Systemen gegenüber offen sind. Es mangelt aber an Erfahrung, klarer Nutzenkommunikation und Beratung. Hinzu kommt, dass das räumlich-zeitliche Standortwissen der Bewirtschafter derzeit wenig Berücksichtigung in bereits vorhandenen Datenbeständen findet und in aktuellen Forschungsarbeiten kaum integriert wird [Va20].

Das Projekt „AgriSens – DEMMIN 4.0“ hat sich daher zum Ziel gesetzt, praxisrelevante Anwendungsfälle für die Nutzung von Fernerkundungsdaten, d. h. satelliten- und UAV-gestützter Systeme, für konkrete Fragen des Pflanzenbaus zu identifizieren, Methoden weiter- und neu zu entwickeln und dieses Wissen dem Landwirt und jedem Interessierten unkompliziert zur Verfügung zu stellen. So sollen eine stärkere Akzeptanz und eine breitere Nutzung dieser wertvollen Datenquellen zur Optimierung von betrieblichen Abläufen im Pflanzenbau erreicht werden.

2 Experimentierfeld DEMMIN

Das Experimentierfeld DEMMIN (*Durable Environmental Multidisciplinary Monitoring Information Network*) liegt ca. 180 km nördlich von Berlin im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern im nordostdeutschen Tiefland. Die heutige Jungmoränenlandschaft mit ihren zahlreichen Seen und Mooren ist geprägt von typischen periglazialen Landschaftselementen wie ausgedehnten, flachen Sandflächen, Hügeln und Senken. DEMMIN wird seit etwa 20 Jahren als Kalibrations- und Validationstestfeld für

Fernerkundungsdaten durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt betrieben und ist u. a. ausgestattet mit 43 Umweltmesstationen, 63 Bodenfeuchtestationen, einem Lysimeterhexagon, einer Eddy-Kovarianz-Messstation sowie einem Forschungskran. Seit 2011 ist es zudem Teil des TERENO Observatoriums Nordost des Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam. DEMMIN ist weiterhin das einzige deutsche Testgebiet im *Joint Experiment of Crop Assessment and Monitoring* (JECAM). Durch langjährige Forschungsaktivitäten und seine nationale und internationale Vernetzung eignet sich DEMMIN hervorragend als Testgebiet für das Projekt AgriSens - DEMMIN 4.0. Darüber hinaus werden weitere Standorte in Sachsen-Anhalt und Niedersachsen als Vergleichsstandorte eingebunden, um die Übertragbarkeit entwickelter Verfahren testen zu können.

3 Ausgewählte Vorhaben

AgriSens – DEMMIN 4.0 ist in drei aufeinander aufbauende Elemente strukturiert: Das erste Element umfasst die methodischen Grundlagen und zielt auf die Erfassung und Erarbeitung innovativer Methoden hinsichtlich der Digitalisierung in landwirtschaftlichen Unternehmen, den Umgang mit Geodaten sowie den Grundlagen zur Ableitung biotischer und abiotischer Parameter aus Fernerkundungsdaten ab. Darauf bauen als zweites Element die an der landwirtschaftlichen Praxis orientierten Anwendungsfälle im Bereich Pflanzenbau auf. Das dritte Element bildet schließlich der Daten- und Wissenstransfer. Dieser zielt darauf ab, die entwickelten Methoden praktisch einzusetzen und direkt für den Landwirt nutzbar zu machen. Im Folgenden werden ausgewählte Vorhaben des Projektes kurz erläutert.

3.1 Digitalisierung von Praxisbetrieben

Zunächst erfolgt eine grundlegende wissenschaftliche Analyse des Ist-Zustandes der Digitalisierung in Praxisbetrieben mit spezifischem Fokus auf die Nutzung von Geoinformationen und Schnittstellen. Dies umfasst sowohl die generelle Ausstattung mit Daten, Software und Knowhow sowie deren Nutzung, aber auch Strategien zum Umgang mit Digitalisierung. Betriebsbesuche ermöglichen eine Bestandsaufnahme des Grades der Digitalisierung, hinzu kommen Befragungen und leitfadengestützte Interviews, die auf eine Entwicklung von Anforderungskriterien für die Nutzung von Geodaten im Betrieb abzielen. Vorhandene zum Einsatz kommende Techniken werden erfasst, um Anknüpfungspunkte zu finden und um neue Verwendungsrichtungen zu erkennen. Im Verlauf des Projektes werden für etwa fünf Beispielbetriebe die im Verlauf von Bewirtschaftungsmaßnahmen automatisch anfallenden Geodaten aufbereitet und auf ihren Informationsgewinn hin analysiert. Weiterhin werden Schwachstellen im digitalen Datenfluss herausgearbeitet und Möglichkeiten der Integration von Datenauswertungen eruiert.

3.2 Datenportal

Eine Kernaufgabe des Projektes ist die Erarbeitung geeigneter Konzepte zur Datenbereitstellung und deren Einbindung in landwirtschaftliche Entscheidungsprozesse. Herausforderungen bei der Erstellung einer Datenbasis sind die Synchronisation von Satellitendaten mit unterschiedlichen Aufnahmetechniken, geometrischer und zeitlicher Auflösung, die Standardisierung von in-situ Beobachtungen, die Einbindung von UAV-Daten und Nutzern in die Datenerhebung sowie die Bereitstellung einer Plattform für den Daten- und Methodenzugriff. Es wird ein Smart Data Cube auf der Basis des Open-Source-Toolkit der Open Data Cube Initiative (ODC) entwickelt mit dem Ziel, analysefertige Erdbeobachtungsdaten für den Forschungsverbund und die Endnutzer in der landwirtschaftlichen Anwendung bereitzustellen. Der Smart Data Cube bildet die Schnittstelle zwischen Forschung im Sinne von fernerkundungsbasierter Methodenentwicklung aller im Verbund entstehenden Methoden und Anwendungen und der Nutzergemeinschaft im Landwirtschaftssektor.

3.3 Anwendungsfälle

Die Datenbereitstellung sowie die Methodensondierung und -entwicklung erfolgt anwendungsorientiert und in Vorbereitung auf die Umsetzung praxisorientierter Anwendungsfälle. Diese sollen in die betrieblichen Strukturen integriert werden und so den Weg in die Praxis finden. Bisher wurden vier Anwendungsfälle in Zusammenarbeit mit den örtlichen Landwirten definiert. Im Projektverlauf ist die Aufnahme weiterer Anwendungsfälle geplant.

Der erste Anwendungsfall beschäftigt sich mit der Ertragsabschätzung und dem Betriebsmitteleinsatz. Dazu sollen an ausgewählten Betrieben Streifenexperimente durchgeführt werden, um den Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmethoden auf die Erträge auf Basis des lokal variierenden Ertragspotenzials zu untersuchen. Es werden Modelle entwickelt, die Fernerkundungsdaten, Pflanzenwachstumsmodelle, Witterungsdaten und historische Ertragsinformationen verknüpfen und eine optimierte Ertragsschätzung auf Schlag- oder Teilschlagebene für unterschiedliche Zeitpunkte im Jahr liefern.

Der zweite Anwendungsfall widmet sich der nachhaltigen Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen. Die Berücksichtigung schlaginterner Heterogenität (z. B. durch Precision Farming) kann eine Ertragserhöhung bzw. -stabilisierung bei gleichzeitiger Senkung des Betriebsmitteleinsatzes ermöglichen [TB12]. Darüber hinaus kann dies zur Verringerung der Ammoniak- und Stickstoffoxid-Konzentration im Boden und somit zur Verbesserung der Wasserqualität beitragen [Ca99]. Ziel des zweiten Anwendungsfalls ist die Bereitstellung eines Informationslayers, der die Identifikation, Verortung und Typisierung von Minderertragsflächen [Sa02] und somit eine optimierte Bewirtschaftung dieser erlaubt. Dazu wird ortsgebundenes Wissen über diese Flächen während der Feldbearbeitung durch Landwirte wiederholt mithilfe der Anwendung

„FieldMApp“ auf mobilen Endgeräten digital erfasst, fusioniert und anschließend mit Satellitendaten verschnitten. Funktionalität und Design der „FieldMApp“ werden in kooperativer Zusammenarbeit von Landwirten und Wissenschaftlern gemeinsam definiert (Citizen-Science-Ansatz), um eine bedarfsgerechte Lösung zu schaffen.

Der dritte Anwendungsfall befasst sich mit der Detektion von Steinen auf landwirtschaftlichen Flächen, welche große Schäden an landwirtschaftlichen Maschinen verursachen können und bisher manuell durch Abfahren des kompletten Schlages entfernt werden. Ziel ist es, einen vermarktungsfähigen Workflow zur drohnenbasierten Detektion von Steinen zu entwickeln, um den Personal- und Maschinenaufwand zu verringern. So müssen nur noch ausgewählte Stellen auf den Schlägen gezielt angefahren werden und es werden Betriebsmittel eingespart und Flächenverdichtungen verringert. Die Detektion von Steinen erfolgt mittels objektbasierter Algorithmen, während fernerkundliche Indizes irrelevante Areale sowie Plastikmüll ausschließen.

Thema des vierten Anwendungsfalles ist die Bewässerungstechnik. In Zeiten zunehmender extremer Witterungsereignisse, welche speziell in den Jahren 2018 und 2019 durch eine ausgeprägte Dürre in ganz Deutschland sichtbar wurden, setzen viele Landwirte auf den Ausbau bzw. die Wieder- und Neueinrichtung von Bewässerungsinfrastrukturen [UB19]. Um die Ressource Wasser bedarfsgerecht und kostenbewusst auszubringen, werden im Rahmen des vierten Anwendungsfalles Modelle entwickelt, die die räumliche Verteilung des Bewässerungsbedarfs ermitteln und optimierte teilflächenspezifische Bewässerungsszenarien ermöglichen.

3.4 Daten- und Wissenstransfer

Ein zentrales Element des AgriSens-Projektes ist der Daten- und Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Nutzern in der Praxis, insbesondere Landwirten im Experimentierfeld. Bei regelmäßig stattfindenden Workshops wird über den jeweiligen Status von Entwicklungen und Services informiert, auch praktische Übungen sind geplant. So soll sichergestellt werden, dass nah an der landwirtschaftlichen Praxis gearbeitet wird, es gibt Raum für Rückmeldung und Kritik sowie Zeit für die Erarbeitung neuer Schwerpunktthemen.

Die bereitgestellten Services umfassen komplette Verarbeitungsroutinen für die Anwendungsfälle des Experimentierfeldes und werden über nutzerfreundliche webbasierte Plattformen zur Verfügung gestellt, um einen einfachen Zugang zur Analyse von Satelliten- oder UAV-Daten anzubieten. Weiterhin sollen Landwirten Karten bzw. Entscheidungshilfen zur N-Düngeplanung im Offline-Verfahren auf mobilen Endgeräten zur Verfügung gestellt werden. Dafür wird die App „FieldMApp“ weiterentwickelt, die v. a. im zweiten Anwendungsfall (Minderertragsflächen) zum Einsatz kommen soll.

4 Partner und Förderung

Im Projekt arbeiten verschiedene Universitäten und Forschungsinstitute aus ganz Deutschland zusammen. Das Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungs-Zentrum GFZ nimmt dabei die Rolle der Projektkoordination ein. Weitere Partner sind der Deutsche Wetterdienst (DWD), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU), die Hochschule Neubrandenburg (HSNB), das Julius-Kühn-Institut (JKI), die Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU) und die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU). Die Projektpartner arbeiten eng mit den Landwirten und landwirtschaftlichen Betrieben im Experimentierfeld zusammen.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Literaturverzeichnis

[Ba19] Barnes, A.P.; Soto, I.; Eory, V.; Beck,B.; Balafoutis, A.; Sánchez, B.; Vangeyte, J.; Fountas, S.; van der Wal, T.; Gómez-Barbero, M.: Exloring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. Land Use Policy 80, 163-174, 2019.

[Ca99] Cassman, K.G.: Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences 96 (11), 5952-5959, 1999.

[DL18] DLG e.V., Digitale Landwirtschaft – Ein Positionspapier der DLG. https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/technik/digitalisierung-arbeitswirtschaft-und-prozesstechnik/digitale-landwirtschaft, Stand: 18.11.2020.

[Sa02] Sattler, C.: Kleinräumige Stilllegung von Minderertragsflächen. Ein ökonomisch tragfähiges Konzept zur Entwicklung und zum Schutz von Lebensräumen innerhalb von Ackerflächen. In (Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MLUR), Hrsg.): Ansätze für eine dauerhaft-umweltgerechte landwirtschaftliche Produktion in Nordostdeutschland. Landesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft, Frankfurt (Oder), 2002.

[TB12] Tey, Y.S.; Brindal, M.: Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. Precision Agriculture 13, 713–730, 2012.

[UB19] UBA, Umweltbundesamt: LW-R-6 Landwirtschaftliche Beregnung, https://www.umweltbundesamt.de/lw-r-6-das-indikator#lw-r-6-landwirtschaftliche-beregnung, Stand: 19.11.2020.

[Va20] Vallentin, C.; Dobers, E.S.; Itzerott, S.; Kleinschmit, B.; Spengler, D.: Delineation of management zones with spatial data fusion and belief theory. Precision Agriculture 21, 802–830, 2020.