

GESELLSCHAFT
FÜR INFORMATIK



M. Gandorfer, A. Meyer-Aurich, H. Bernhardt,
F. X. Maidl, G. Fröhlich, H. Floto (Hrsg.)

Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft

**Fokus:
Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier**

Referate der 40. GIL-Jahrestagung

**17. - 18. Februar 2020
Campus Weihenstephan, Freising**

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings

Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)

Volume P-299

ISBN 978-3-88579-693-0

ISSN 1617-5468

Volume Editors

Markus Gandorfer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung

85354 Freising, Germany

Email: markus.gandorfer@lfl.bayern.de

Andreas Meyer-Aurich

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.

14469 Potsdam, Germany

Email: ameyer@atb-potsdam.de

Heinz Bernhardt

Technische Universität München

85354 Freising, Germany

heinz.bernhardt@wzw.tum.de

Franz Xaver Maidl

Technische Universität München

85354 Freising, Germany

Email: maidl@wzw.tum.de

Georg Fröhlich

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung

85354 Freising, Germany

Email: georg.froehlich@lfl.bayern.de

Helga Floto

GIL-Geschäftsstelle

73730 Esslingen, Germany

Email: gil.floto@gmail.com

Series Editorial Board

Heinrich C. Mayr, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Austria
(Chairman, mayr@ifit.uni-klu.ac.at)

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

Thomas Roth-Berghofer, University of West London, Great Britain

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

Andreas Oberweis, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Germany

© Gesellschaft für Informatik, Bonn 2020

printed by Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn



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

Vorwort

Die 40-jährige Jubiläumsjahrestagung 2020 der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL) findet am Ort ihrer Gründung in Weihenstephan statt. Die Jubiläumstagung verfolgt das Leitthema „Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier“. Der Nutzen der Digitalisierung in der Landwirtschaft wurde bislang überwiegend aus der Perspektive von Effizienzsteigerung und Wirtschaftlichkeit diskutiert. Weitergehend soll auf der 40. Jahrestagung der GIL die Interaktion von Digitalisierung in der Landwirtschaft mit Mensch, Umwelt und Tier im Mittelpunkt der Betrachtung stehen. Die aktuell sehr kritisch geführten gesellschaftspolitischen Debatten um die Landwirtschaft unterstreichen die Bedeutung dieser Schwerpunktsetzung. Es stellt sich beispielsweise die Frage, welche Vorteile bzw. Nachteile sich durch die Digitalisierung hinsichtlich Arbeitsbelastung und Arbeitszufriedenheit ergeben und was dies für die Attraktivität des Berufsbildes Landwirt bedeutet. Schließlich geht es darum, die Digitalisierung in der Landwirtschaft in einer Weise zu entwickeln und auszugestalten, dass sie dem Menschen dient. Weiterhin sind die Chancen der Digitalisierung für eine umweltverträgliche landwirtschaftliche Produktion weiter zu entwickeln. Es wurde in der Vergangenheit vielfach gezeigt, dass mit Precision-Farming-Technologien Betriebsmittel eingespart werden können. Inwiefern digitale Technologien eingesetzt werden können, um einen Beitrag zum Schutz der Biodiversität zu leisten oder um die Produktion von Ökosystemleistungen zu ermöglichen, wurde dagegen bislang wenig untersucht. In der Nutztierhaltung werden die Potenziale der Digitalisierung zunehmend wahrgenommen. So werden beispielsweise seit vielen Jahren verschiedene Sensorsysteme in der Milchviehhaltung entwickelt, um das Fruchtbarkeitsmanagement zu verbessern oder die Ortung der Tiere zu ermöglichen. Darüber hinaus stellt sich jetzt die Frage, inwiefern intelligente digitale Technologien zur Steigerung der Tiergesundheit und damit zu einer Verbesserung des Tierwohls eingesetzt werden können.

Das Leitthema der Jahrestagung 2020 ist insgesamt auf sehr gute Resonanz gestoßen. Aus 88 eingereichten Abstracts konnte nach einem zweistufigen Begutachtungsverfahren ein anspruchsvoller Tagungsband mit 61 wissenschaftlichen Beiträgen erstellt werden. Erstmals sind Beiträge aus vier der vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten digitalen Experimentierfelder enthalten, die nach einem gesonderten Begutachtungsprozess in den Band aufgenommen wurden. Ziel ist es, dass sich die folgenden GIL Jahrestagungen zum Treffpunkt aller geförderten digitalen Experimentierfelder etablieren. Unser Dank geht schließlich an die Autoren, die Vortragenden und die Gutachter für ihr Engagement, an die Sponsoren für ihre materielle Unterstützung und all diejenigen, die an der Organisation der Tagung aktiv mitgewirkt haben.

Freising, im Januar 2020

Für die Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- u. Ernährungswirtschaft e.V.:

PD Dr. Markus Gandorfer, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

PD Dr. Andreas Meyer-Aurich, Leibniz-Institut für Agrartechnik u. Bioökonomie e.V.

Helga Floto, GIL-Geschäftsstelle

Für das Programm- und Organisationskomitee der GIL-Jahrestagung 2020:

Prof. Dr. Heinz Bernhardt, Technische Universität München

Dr. Georg Fröhlich, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Digitalisierung in der Landwirtschaft kann richtig eingesetzt einen bedeutenden Beitrag zur Verbesserung der Ressourceneffizienz, Steigerung des Tierwohls und Reduzierung der Arbeitsbelastung der Landwirte leisten. Sie ist damit ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige, gesellschaftliche akzeptierte und damit zukunftsfähige Landwirtschaft. Dies gilt besonders auch für relativ kleinstrukturierte Agrarregionen, wie sie in Bayern oft anzutreffen sind.

Bei aller Euphorie über die Möglichkeiten der Digitalisierung, müssen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik die Einsatzmöglichkeiten der Technologie auch so gestalten, dass sie oben genannten Ansprüchen gerecht werden. Themen wie Datenschutz und Datenhoheit, Auswirkungen auf die Stellung der Landwirtschaft in der Wertschöpfungskette, Nutzbarkeit für unterschiedliche Betriebsgrößen und -typen in allen Regionen und vor allem auch die Auswirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt müssen dabei mit betrachtet werden.

Vor diesem Hintergrund ist es dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten eine Freude, den vorliegenden Tagungsband zur 40-jährigen Jubiläumstagung der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL) zu finanzieren.

MR Dr. Alexander Malcharek

Stabsstelle Digitalisierung

Ltd. MR Anton Dippold

Bayerische Agrarpolitik, Sonderaufgaben, Agrarstatistik, Wirtschaftsbeobachtung

Sponsoren

Wir danken den folgenden Unternehmen für die Unterstützung der Konferenz.

Amazonen Werke H. Dreyer
GmbH & Co.KG
Hasbergen-Gaste
Deutschland



AMAZONE

BayWa AG
München
Deutschland



CLAAS KGaA mbH
Harsewinkel
Deutschland

CLAAS

John Deere GmbH & Co.KG
Kaiserslautern
Deutschland



JOHN DEERE

Pessl Instruments GmbH
Weiz
Österreich



Smartbow GmbH
Weibern
Österreich



smaXtec animal care GmbH
Graz
Österreich



Zentrum Digitalisierung Bayern
Garching b. München
Deutschland



NEX↑T Farming

Damit die Welt der Landwirte leichter wird.

Wir begleiten mit unseren Softwarelösungen, ergänzenden Produkten und Dienstleistungen die Landwirtschaft in die digitale Zukunft – denn unsere Welt braucht Landwirte!



Mehr Infos unter:
nextfarming.world

NEXT Farming ist eine Marke von:

Farm Facts
A BayWa Company

nextfarming.world

Zukunft ernten.



Talente gesucht, die auf allen Feldern zu Hause sind.

Die Landtechnik ist einer der lebenswichtigsten Wirtschaftszweige der Welt, denn die Menschheit wächst immer weiter. So werden im Jahr 2025 etwa 8 Mrd. Menschen auf der Erde leben. Moderne Erntemaschinen helfen, die steigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln zu bedienen. Hightech-Produkte von CLAAS sind in 140 Ländern im Einsatz. Mit mehr als 11.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an unseren Standorten weltweit erzielen wir einen Umsatz von 3,8 Mrd. Euro.

Zukunft ernten: www.claas.jobs

CLAAS |



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

© 2014 John Deere



**WERDEN SIE TEIL DES BAYERNWEITEN NETZWERKES,
IHR KONTAKT FÜR DIGITALES LANDMANAGEMENT**

Christian Metz

☎ 089 2488071 38

✉ christian.metz@zd-b.de

WWW.ZENTRUM-DIGITALISIERUNG.BAYERN

44.176,20 €

KÖNNEN SIE MIT SMARTBOW PRO JAHR EINSPAREN



BEI 175 KÜHEN

MIT GESUNDHEITSÜBERWACHUNG	22.380,75 €	▼
DURCH OPTIMIERTE REPRODUKTION	14.557,50 €	▼
WIE SIE KÜHE SCHNELLER FINDEN	7.237,95 €	▼

Wie hoch ist Ihr persönliches Sparpotenzial?
Finden Sie es hier heraus: [rund-ums-rind.de/erkennen](https://www.rund-ums-rind.de/erkennen)



SMARTBOW
Early Detection. Better Outcomes.

zoetis

Programmkomitee

Dr. Thomas Anken	Agroscope, Tänikon, Schweiz
Dr. Norbert Barta	Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich
Prof. Dr. Heinz Bernhardt	Technische Universität München, Freising
Karsten Borchard	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Dr. Marianne Cockburn	Agroscope, Ettenhausen, Schweiz
Prof. Dr. Michael Clasen	Hochschule Hannover
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. Christa Hoffmann	Magility GmbH, Kirchheim unter Teck
Dr. Dieter von Hörsten	JKI, Braunschweig
Prof. Dr. Wolfgang Lentz	Hochschule für Technik u. Wirtschaft Dresden
Dr. Franz-Xaver Maidl	Technische Universität München, Freising
Daniel Martini	KTBL, Darmstadt,
Dr. Susanne Otter-Nacke	Firma Claas, Harsewinkel
Prof. Dr. Guido Recke	Hochschule Osnabrück
Prof. Dr. Arno Ruckelshausen	Hochschule Osnabrück
Prof. Dr. Urs Schmidhalter	Technische Universität München, Freising

Organisationsteam

Prof. Dr. Heinz Bernhardt	Technische Universität München, Freising
Dr. Franz Xaver Maidl	Technische Universität München, Freising
Claudia Luksch	Technische Universität München, Freising
Dr. Georg Fröhlich	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
Dr. Markus Demmel	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
PD Dr. Markus Gandorfer	1. GIL-Vorsitzender, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
PD Dr. Andreas Meyer-Aurich	2. GIL-Vorsitzender, Leibniz-Institut für Agrartechnik u. Bioökonomie e.V., Potsdam
Helga Floto	GIL-Geschäftsführerin, Esslingen

Referate

Thomas Anken, Thainna Waldburger <i>Working Quality, Drift Potential and Homologation of Spraying Drones in Switzerland</i>	25
Michael Bauer, Patrick Noack, Matthias Rothmund <i>Funktionsvalidierung eines portablen ISOBUS-Telemetriesystems mit Task Controller-Funktionalität</i>	31
Sebastian Bökle, David Reiser, Hans W. Griepentrog <i>Automatisierte und digitale Dokumentation der Applikation organischer Düngemittel</i>	37
Karsten Borchard, Christopher Steffen, Stefan Meyer <i>Digitalisierung in der Aquakultur (Aquakultur 4.0)</i>	43
Sabrina Burkert, Rolf Nathaus, Franziska Fiege, Marcus Mergenthaler, Marc Boelhauve <i>Digitalisierung in der Nutztierpraxis zur Verringerung des Antibiotikaeinsatzes</i>	49
Arne de Wall, Christian Danowski-Buhren, Andreas Wytzisk-Arens, Kai Lingemann, Santiago Focke Martinez <i>prospective.HARVEST - Optimizing Planning of Agricultural Harvest Logistic Chains</i>	55
Nadja El Benni <i>Der Umgang der Schweiz mit der Digitalisierung der Land- und Ernährungswirtschaft</i>	61
Marc Favier, Yann Le Chevanton, Amélie Marchal, Vyndell Michael, Yaxu Xie, Runmao Zhao, Jörg Seewig <i>ISOBUS Simulator for small and medium-scale manufacturers and farmers</i>	67
Jan Henrik Ferdinand, Yves Reckleben <i>Blockchain in der Verfahrensdokumentation von landwirtschaftlichen Betrieben</i>	73
Franziska Fiege, Bettina Hundt, Juliane O'Hagan, Sabrina Reuter, Alexander Ellebrecht, Marc Boelhauve <i>Entwicklung des FlexScreen-Managementtools zur Erfüllung der staatlichen Dokumentationspflichten und zur kontinuierlichen Erfassung von Tiergesundheitsdaten in der Schweinehaltung</i>	79
Jobst Gödeke, Jens Karl Wegener, Dieter von Hörsten, Christian Höing <i>Entwicklung einer Robotik-Lösung zur Schneckenbekämpfung im Ackerbau</i>	85

Tanja Groher, Katja Heitkämper, Ruedi Stark und Christina Umstätter <i>Stand der Digitalisierung in der Schweizer Wiederkäuerhaltung.....</i>	91
Maximilian Haverkamp, Alexander Grunwald, Clemens Westerkamp, Marco Schaarschmidt <i>Weitverkehrsfunk-Vernetzung für landwirtschaftliche Anwendungsfälle: LoRaWAN und NB-IoT für Unterflursensoren im Precision Farming.....</i>	97
Andreas Heckmann, Stefan Paulus <i>Fusion von Bilddaten und IoT-Funksensordaten im pflanzenbaulichen Feldversuchswesen</i>	103
Andreas Heiß, Dimitrios S. Paraforos, Galibjon M. Sharipov, Hans W. Griepentrog <i>Fuzzy Farmer – optimierte Stickstoffdüngung durch mehrparametrische Datenfusion und präzise Applikation in Echtzeit</i>	109
Maximilian Jatzlau <i>Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen – Eine empirische Akzeptanzuntersuchung mit Landwirten und Lohnunternehmern.....</i>	115
Yusuf Nadi Karatay, Ausra Nausediene, Andreas Meyer-Aurich <i>Kosteneffizienz der THG-Minderung mit einer Stickstoffdüngersteuer unter Berücksichtigung der Risikoeinstellung von Landwirten.....</i>	121
Florian Kitzler, Lukas Rapberger, Andreas Gronauer, Norbert Barta <i>Validierung eines Objektlokalisierungs-Algorithmus zur Detektion von Rundballenmodellen</i>	127
Julian Klose, Markus Schröder, Silke Becker, Ansgar Bernardi, Arno Ruckelshausen <i>Datenaufbereitung in der Landwirtschaft durch automatisierte semantische Annotation.....</i>	133
Philipp Daniel König, Hans Peter Maurer, Mario Jenz, Kim Möller, Jan Neuweiler, Dominik Nieberg, Johannes Trini, Tobias Würschum, Arno Ruckelshausen <i>Einsatz eines Thermografiekamerasystems in der Hochdurchsatz-Phänotypisierung von Getreidefeldversuchen.....</i>	139
Miriam Kramer, Larissa Verfürth, Nicole Tücking, Marc Boelhauve, Marcus Mergenthaler <i>Akzeptanz von integrierten Herdenmanagementprogrammen zum Gesundheitsmonitoring auf rinderhaltenden Betrieben am Beispiel einer Smartphone-Applikation.....</i>	145

Hanna Kühl, Jan-Hendrik Buhk, Hans-Hennig Sundermeier <i>Überbetriebliche Optimalplanung der Düngung mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung.....</i>	151
Isabella Lorenzini, Katharina Grimm, Bernhard Haidn <i>Entwicklung eines Berechnungsmodells zur automatischen Lahmheitserkennung.....</i>	157
Robert Luer, Bernd Hardeweg <i>Betriebsvergleich 4.0.....</i>	163
Mirjam Mattei, Francesco Argento, Marianne Cockburn <i>Evaluation of Soil Data Interpolation Methods.....</i>	169
Marius Michels, Vanessa Bonke, Oliver Mußhoff <i>Investigating the adoption of smartphone apps in crop protection.....</i>	175
Martin Mittermayer, August Gilg, Franz-Xaver Maidl, Kurt-Jürgen Hülsbergen <i>Erfassung der räumlichen Variabilität von Boden- und Pflanzenparametern: Grundlage für die teilflächenspezifische N-Bilanzierung.....</i>	181
Svenja Mohr, Julia Höhler <i>Öffentliche Meinung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft und ihren Auswirkungen.....</i>	187
Svenja Mohr, Rainer Kühl <i>Künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft.....</i>	193
Rolf A. E. Mueller, Daniel A. Sumner <i>Entrepreneurship costs and the readability of regulations.....</i>	199
Dominik Nieberg, Mario Jenz, Kim Möller, Philipp Daniel König, Matthias Igelbrink, Amine Abbadi, Ulf Feuerstein, Arno Ruckelshausen <i>Mobiles Hochdurchsatz-Phänotypisierungssystem für Feldversuche in Raps.....</i>	205
Ulrike Niese, Fabian Gehrs, Karsten Morisse, Maximilian Jatzlau <i>Nutzerzentrierte Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche für eine offene Software-Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen.....</i>	211
Frank Nordemann, Thorben Iggena, Franz Kraatz, Maik Fruhner, Heiko Tapken, Ralf Tönjes <i>Digitale Agrarprozesse für eine nachhaltige und verordnungskonforme Land- wirtschaft am Beispiel einer kooperativen Flüssigmistausbringung.....</i>	217
Johanna Pfeiffer, Jana Bolduan, Markus Gandorfer und Eva Zeiler <i>Digitales Gesundheitsmonitoring einer Milchviehherde.....</i>	223

Diana Pietzner und Peter Wagner <i>Quantifizierung der maximalen Anpassungsgüte von Sensormesswerten.....</i>	229
Jan-Philip Pohl, Dieter von Hörsten, Jens Karl Wegener <i>Digitales Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation mit Direkt- einspeisung von Pflanzenschutzmitteln.....</i>	235
Jernej Poteko, David Eder, Patrick Ole Noack <i>Bestimmung des Betriebsmodus landwirtschaftlicher Maschinen auf Basis von GNSS-Messwerten.....</i>	241
Franziska Potts, Jens-Peter Loy <i>Die Nutzung von Online-Informationen bei der Vermarktung von Getreide.....</i>	247
Guido Recke, Martin Janßen, Antonia Albers <i>Innovative digitale Formen der Direktvermarktung am Beispiel Marktschwärmer - Potenziale und Risiken.....</i>	253
Linda Reissig <i>Wahrnehmung der Digitalisierung in der Landwirtschaft durch Betriebsleiter von Betriebsgemeinschaften in der Schweiz.....</i>	259
Peter Riegler-Nurscher, Johann Prankl, Markus Hofinger, Markus Vincze <i>Detektion eines Grünlandschwades mit Stereo-RGB Kamera.....</i>	265
Martin Riekert, Tobias Zimpel, Christa Hoffmann, Andrea Wild, Eva Gallmann, Achim Klein <i>Towards animal welfare monitoring in pig farming using sensors and machine learning.....</i>	271
Michael Schmid, Teresa Hoiss, Heinz Bernhardt <i>Ökonomisches, ökologisches und zeitliches Einsparpotential eines Milchruns beim Flüssiglebensmitteltransport zwischen Italien und Deutschland.....</i>	277
Sirkka Schukat, Heinke Heise, Marie Diekmann <i>Voraussetzungen für die Entwicklung von IT-Lösungen zur Umsetzung höherer Tierwohlstandards am Beispiel des Schwanzbeißen in der Schweinemast.....</i>	283
Sören Schulte-Ostermann, Peter Wagner <i>Teilflächenspezifische Phosphordüngung: Beitrag zur Verbesserung der Phosphor- effizienz?.....</i>	289
Dorothee Schulze Schwering, Dominic Lemken <i>Totally Digital? Adoption of Digital Farm Management Information Systems.....</i>	295

Johannes Speckle, Wolfgang Angermair, Franziska Brohmeyer, Lena Brüggemann, Andreas Spicker, Sebastian A. Pauli <i>Teilflächenspezifische Düngung als Reaktion auf wachsende gesellschaftliche Anforderungen und als Beitrag zur Entspannung des Widerspruches zwischen Ökonomie und Ökologie</i>	301
Andrei Stoinescu, Linda Reissig, Gabriele Mack <i>Does e-government contribute to a reduction of farmers' administrative burdens in Switzerland</i>	307
Franz Stübler, Florian Kitzler, Martin Seiringer, Johannes Landrighinger, Andreas Gronauer, Norbert Barta <i>Entwicklung und Validierung einer belastungsabhängigen Positionskorrektur eines Heukrans</i>	313
Holger D. Thiele, Jens Boysen-Hogrefe, Jonas Peltner, Björn Christensen <i>Wie gut können Milcherzeugerpreise in Deutschland prognostiziert werden?</i>	319
Larissa Verfürth, Miriam Kramer, Annemarie Leising, Katrin Schütz, Nicole Tücking, Marc Boelhauve, Marcus Mergenthaler <i>Wirkungsanalyse von Schulungen zu Herdenmanagementprogrammen auf rinderhaltenden Betrieben</i>	325
Paul Vogel <i>Datenhoheit in der Landwirtschaft 4.0</i>	331
Fabian Weckesser, Anja Hartmann, Michael Beck, Sebastian Peisl <i>Entscheidungsunterstützung durch Datenvernetzung</i>	337
Paul Johann Weller von Ahlefeld <i>Umweltschutz durch Präzisionslandwirtschaft – sind Rebound-Effekte möglich?</i>	343
Martin Wutke, Mehmet Gültas, Imke Traulsen, Armin O. Schmitt, <i>Automatische Unterscheidung von Verhaltensmustern bei Schweinen auf der Basis von Anomalieerkennung durch ein neuronales Konvolutionsnetzwerk</i>	349
Kathrin Lina Martha Ziegler, Jochen Georg Wiecha, Heinz Bernhardt <i>Automatisierte Lahmheitserkennung in der Milchviehproduktion</i>	355
Tobias Zimpel, Martin Riekert, Christa Hoffmann, Andrea Wild <i>Maschinelle Lernverfahren zur frühzeitigen Prognose der Handelsklasse</i>	361

Referate – Forschungsbereich Digitale Experimentierfelder

Hans W. Griepentrog, Markus Frank, Enno Bahrs

Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft – DiWenkLa 367

Patrick Noack, Peter Breunig, Bernhard Bauer

Digitales Experimentierfeld Diabek..... 373

**Yves Reckleben, Jan-Henrik Ferdinand, Eberhard Hartung, Bernd Irps,
Klaus Drescher, Carsten Henze**

Betriebsleitung und Stoffstrommanagement - Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein (BeSt-SH)..... 379

Arno Ruckelshausen, Robert Everwand

Experimentierfeld zur digitalen Transformation im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Agro-Nordwest) 385

Working Quality, Drift Potential and Homologation of Spraying Drones in Switzerland

Thomas Anken¹ and Thainna Waldburger¹

Abstract: Unmanned multicopters offer an interesting potential for the application of plant protection products in vineyards with steep slopes. Under such conditions, they can replace manual work and are an alternative to applications by helicopters. In Europe, no homologation process for unmanned aerial vehicles (UAV) exist so far. To fill this gap, a standard procedure has been elaborated in Switzerland and been in force since 2019. In addition to the measurements of common sprayer tests, the lateral wind speed caused by UAVs in 10 m and 20 m distance was chosen for the assessment of the risk of spray drift. The uniformity of the transversal spray distribution was measured by means of adapted patternators. UAVs reached satisfactory lateral distributions with variation coefficients of 6-15 %. During this first year, the testing methodology and the homologation process worked well and will be further applied in the coming years.

Keywords: Spraying drones, plant protection, unmanned aerial vehicle, homologation

1 Introduction

Since 2017, first trials with unmanned aerial vehicles (UAV) for the application of plant protection products have started in Switzerland. This is contrasting to Asia, where in China alone, over 10,000 UAVs are in use for spraying purposes [HB17]. To date, no standardized procedure exists to officially homologate and test their working quality. As aerial applications need a particular permission in Switzerland [BA16], a standard procedure to homologate the spraying UAVs needed to be developed. The motivation to use these small aircrafts in Switzerland is due to the negative perception of helicopter applications in steep vineyards, which are linked to noise and spray drift. It is estimated that over 50 % of the 15,700 ha of vineyards [Sc18] are so steep that they cannot be accessed by means of a tractor. Therefore, the application of plant protection products has to be performed with small orchard sprayers mounted on manually driven track vehicles, by hand or alternatively by helicopter. UAVs open new opportunities for such conditions. In contrast to the strong airstream of big and heavy helicopters, UAVs, which currently weigh between 20 and 40 kg, create a weak airstream and fly about 2 m above the crops.

With their multiple horizontally rotating rotors, multicopters cause a vertical airstream, which guides water drops towards the ground. In contrast to the airflow of conventional orchard sprayers, which is oriented in a horizontal or upward direction. This vertical, soil oriented airstream of drones reduced the drift of plant protection products [Du19]. These

¹Agroscope, Tänikon 1, CH-8356 Ettenhausen
thomas.anken@agroscope.admin.ch, thainna.waldburger@agroscope.admin.ch

positive properties motivated different actors to establish a procedure to homologate drones for the application of plant protection products in Switzerland. The testing procedure developed in this study strongly relies on the standard procedures for sprayers (ISO 16122 & 16119). These prescriptions are complemented by the measurement of the lateral airflow speed, to achieve a reliable indication about the spray drift potential of the UAVs. The whole procedure has been published at www.bazl.admin.ch/drohnen. Like all other sprayers, UAVs have to pass a sprayer test every three years.

This paper presents some of the methods used that are part of the homologation of spraying UAVs in Switzerland.

2 Material and Methods

To quantify the spraying accuracy and to estimate the risk of a possible spray drift, two homologation methods have been developed. They have been applied within the frame of the Swiss homologation process, which started in 2019. The tested drones, 13 in total, belonged to enterprises that offer drone spraying services.

2.1 Tested UAVs: Huanaco and DJI Agras MG 1

All measurements were executed by means of two different multicopters (Table 1). The first one, a UAV of Homeland Surveillance & Electronics (Casselberry FL, USA), had been slightly modified by Agrofly (Monthey, CH). The second was the DJI Agras MG-1 (Shenzen, CN). For the measurement of the lateral spray distribution, 4 UAV1 and 9 UAV2 from different owners were tested within the frame of the Swiss homologation procedure.

Parameter	UAV1	UAV2
Producer	Homeland Surveillance	DJI
Type	Huanaco AG-V6A	Agras DJI MG-1
Number of rotors / engine	6 / TTA 1030	8 / DJI6010
Rotor diameter	76 cm	54 cm
Width (incl. propellers)	236 cm	204 cm
Full weight	37.5 kg	24.1 kg
Volume spray tank	15.2 lt	10 lt
Number of spraying nozzles	4	4

Table 1: Technical description of the two used multicopters

2.2 Transverse volume distribution and wind speed

According to ISO 16122-2 [IS15], a patternator was used to determine the uniformity of the transverse volume distribution of the sprayed liquid. The patternator was modified to reach a width of 3 m and a length of 6 m. The width and depth of the single grooves were 10 cm. During the measurement, the drones hovered constantly in the middle of the patternator at a height of 2.5 m. The UAV sprayed in the same position until the first measuring cylinders, which captured the liquid of the grooves, contained roughly 100 ml. Subsequently, the volume in the measuring cylinder was measured and the coefficient of variance of the lateral distribution was determined according to the above-mentioned ISO-norm.

We performed measurements of the lateral wind speed in a 10 m and 20 m distance of the drones flight to determine the risk of occurring spray drift. The wind sensors (Thies Clima, Ultrasonic Anemometer 3D 4.3830.20.340, Göttingen, DE) were positioned at two measuring heights. These sensors measured the wind speed with a frequency of 10 Hz in three directions (x, y, z). From each measuring point, the wind speed sum of the three directions was calculated to acquire the maximum non-directed wind speed. The UAV hovered at a height of 2.5 m, fully loaded on a length of 50 m, in which the sensor was placed in the middle. This measuring procedure was applied with one UAV1 (two replicates) and with one UAV2 (four replicates).

3 Results

3.1 Uniformity of the transversal volume distribution and wind speed

The 13 UAV1 and UAV2 tested on the patternator reached coefficients of variation (CV) between 6 % and 15 %. The average of UAV1 was 12.2 % and the one of UAV2 was 9.4 %. The differences between the two UAV platforms were not significant (Fig. 1). The influence of the flying height on the regularity of the distribution was significant. The lateral distribution was significantly improved with a flying height of 2.5 m (CV 12 %) compared to 1 m (CV 39 %). At the height of 1 m, nearly no liquid was measured in the middle of the drone, hovering constantly at the same place (Fig. 1).

UAV1 reached maximum wind speeds of about 3.5 m/s in a distance of 10 m in a height of 0.75 m. Almost all other measurements of UAV1&2 were below 1.5 m/s (Fig. 2).

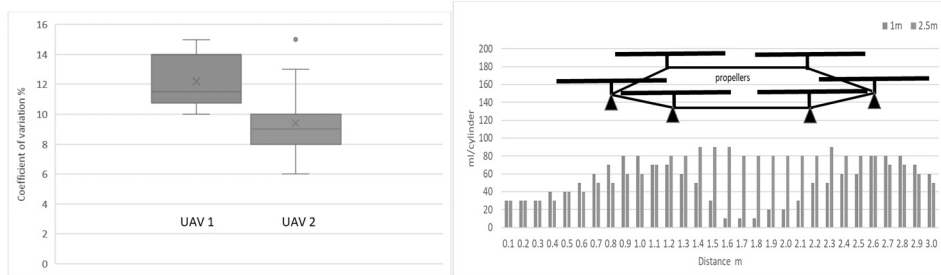


Fig. 1: Transversal liquid distribution: coefficient of variation of 4 UAV1 and 9 UAV2 (left); transversal distribution of 1 drone UAV2 at flying heights 1 m and 2.5 m (right)

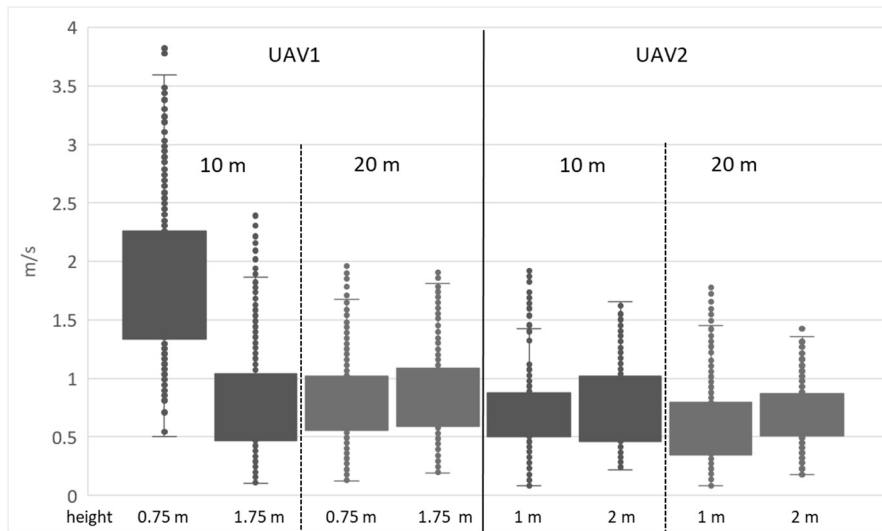


Fig. 2: Lateral wind-speeds during the flight of UAV1 measured in 10 and 20 m distance in two different measuring heights

4 Discussion

4.1 Uniformity of the transversal distribution

The measurement of 13 different drones showed that the modified patternator is a well adapted method to measure the regularity of the distribution of spraying drones. However, the precision of the drones in this study would not pass the requirements for field sprayers,

for which ISO 16119-2 allows a maximum coefficient of variation of the transversal distribution of 10 %. This value was achieved for some measurements but most results lay within the range of 10-15 % CV. As UAVs are mainly used for the treatment of vines, for which no specific regulation exist, a maximum CV of 15 % has been defined to pass the homologation procedure in Switzerland.

The flying height plays an important role in terms of the regularity of the distribution. For the presented measurements, a height of 2.5 m was chosen. A height of only 1 m results in a much poorer distribution (Fig. 1). This is a consequence of the airstream caused by the propellers. Fengbo et al. [Fe18] and Yang et al. [Ya17]) showed that the airstream of the single propellers of a multicopter join to a regular airflow in about 2 m flying height. Above this height, the output of the 4 nozzles is regularly distributed over the working width. Below this height, the output is concentrated below the area of a single propeller under which the nozzles are placed. Between two propellers, the spray volume is much lower, as shown in Fig. 1. This means that flying heights lower than 2 m will cause a strip wise uneven transversal distribution.

The distribution width is very much limited to the width of the UAV. Both UAVs achieved a regular distribution width of about 2.0-2.3 m. A working width of about 250 cm can be achieved by overlapping the working width of two passages. Chen et al. [Ch17] confirm that the spray width is limited by the size of the cylindrical airstream caused by the propellers.

4.2 Wind speed measurements

UAV's with 6 and 8 propellers have shown very particular properties of their generated airstreams. Very low maximum wind speeds below 3 m/s occur in a distance of about 10 m from the UAV. In a distance of 20 m and a height of 2 m, the wind speeds are lower than 1 m/s. Compared to standard orchard sprayers, which generate big and strong airstreams of about 8 m/s [Tr12] and which are directed laterally and not towards the soil, the risk of pesticide drift is lower. These results have been confirmed by field trials measuring the spray drift according to ISO 22866 [Du19]. According to the simulations of Fengbo [Fe18] and Yang et al. [Ya17], the drops are pushed downwards by the airflow of the single propellers. Outside the area of the propellers the wind speed is very low, which means that, there, no drops are transported by the wind. The low wind speeds, the simulations and the field measurements confirm the low risk of spray drift of multicopters. Based on these results, wind speed measurements are considered as a well adapted parameter to estimate the risk of spray drift. In Switzerland, they serve to homologate spraying drones. The airstream caused has to be lower than the following limits: distance of 10 m: in heights of 1 m and 2 m, max. allowed values are 5 m/s resp. 3 m/s in 20 m distance these values are 3 m/s and 2 m/s resp.. If these values are fulfilled, no drift measurement according to ISO 22866 [IS05] is demanded for the homologation of new types of UAV.

4.3 Homologation in Switzerland

Based on the presented results, a homologation procedure and a sprayer test for spraying UAVs was developed in collaboration with the federal offices for environment, agriculture, health, economic affairs and aviation. The details of the homologation are presented on the webpage of the federal office of aviation <https://www.bazl.admin.ch/drohnen>. Apart from the presented parameters, the tests are complemented by several other measurements according to current sprayer tests.

This procedure has proven to be well adapted to guarantee a precise, secure and environmentally friendly application of plant protection products.

Literature

- [BA16] BAFU: Ausbringen aus der Luft von Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten und Düngern. Vollzugshilfe für Vollzugsbehörden und Anwendung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1623, 41 S., 2016
- [Ch17] Chen S.; Lan Y.; Li J.; Xu X.; Wang Z. and Peng B.: Evaluation and test of effective spraying width of aerial spray-ing on plant protection UAV. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 33 (7), 82-90, 2017
- [Du19] Dubuis, P.H.: Unpublished results, Agroscope, CH-Changins, 2019
- [Fe18] Fengbo, Y.; Xinyu X.; Chen C.; Zhu S. and Qingqing Z.: Numerical Simulation and Analysis on Spray Drift Movement of Multirotor Plant Protection Unmanned Aerial Vehicle. Energies, 11, 2399, 20 p., 2018
- [HB17] He X. K.; Bonds J.; Herbst A. and Langenakens, J.: Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. Int J Agric & Biol Eng, 10, 3, p. 18-30, 2017
- [IS15] ISO 16122-2 Agricultural and forestry machinery — Inspection of sprayers in use — Part 2: Horizontal boom sprayers 18. p., 2015
- [IS05] ISO 22866: Equipment for crop protection — Methods for field measurement of spray drift, International Organisation for Standardisation, 2005
- [Sc18] Schweizerischer Bauernverband: Statistische Erhebungen und Schätzungen: Schweizerischer Bauernverband, Brugg, 264 p., 2018
- [Tr12] Triloff, P.; Knoll, M.; Lind, K.; Herbst, E. and Kleisinger, S.: Low-Loss-Spray Application - The Scientific Basis. Work-shop on Standardised Procedure for the inspection of Sprayer, Lana (IT), 27.-29.03.2012, S. 127-134, 2012
- [Ya17] Yang, F.; Xue, X.Y.; Zhang, L. and Sun, Z.: Numerical simulation and experimental verification on downwash airflow of six-rotor agricultural unmanned aerial vehicle in hover. Int J Agric & Biol Eng 10 (4), 41-53, 2017

Funktionsvalidierung eines portablen ISOBUS- Telemetriesystems mit Task Controller-Funktionalität

Entwicklung und Durchführung von Funktionstests

Michael Bauer¹, Patrick Noack² und Matthias Rothmund³

Abstract: Bei der Umsetzung von teilflächenspezifischen Maßnahmen (Variable Rate Control) und bei der Dokumentation von Maßnahmen stellt der Datenaustausch zwischen Ackerschlagkartei (FMIS) und Terminals auf den Maschinen nach wie vor eine große Herausforderung dar. Die Firma OSB AG hat vor diesem Hintergrund ein ISOBUS-Telemetriesystem mit der Bezeichnung ISOconnect entwickelt. Mit diesem können Daten vom PC oder aus cloudbasierten Portalen direkt auf ein Gerät übertragen werden. Das System agiert zudem auf dem ISOBUS als Task Controller. ISOconnect wurde im Rahmen eines Projektes mit unterschiedlichen Anbaugeräten validiert. Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist, dass bei integrierten Funktionsvalidierungen Probleme erkannt werden können, die beim Test einzelner ISOBUS-Komponenten nicht in Erscheinung treten.

Keywords: ISOBUS, ISO 11783, Funktionsvalidierung, Task Controller, Telemetrie

1 Einleitung

Das Konzept der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (VRC: Variable Rate Control, VRA: Variable Rate Application) wurde bereits in den frühen 1990er Jahren entwickelt und erprobt. Der pflanzenbauliche Nutzen einer kleinräumig an den Bedarf der Pflanzen und des Bodens angepassten Bewirtschaftung steht außer Frage. Grundsätzlich können fast alle Maßnahmen von der Bodenbearbeitung über die Düngung bis hin zum Pflanzenschutz teilflächenspezifisch angepasst werden. Die technische Voraussetzung ist dabei, dass die Anbaugeräte über die Fähigkeit verfügen, die Intensitäten anzupassen [No18].

Die Vorteile der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung liegen in der Reduktion von Kosten, der Steigerung des Ertrags, der Erzeugung gleichmäßiger Produktqualitäten und der Minderung des Eintrags von Betriebsmitteln in die Umwelt.

Im Gegensatz zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung haben sich seit Anfang der 2000er Jahre automatische Lenksysteme und Teilbreitenschaltungen auf relativ breiter Front durchgesetzt. Die Ursachen hierfür liegen vor allem darin, dass die Systeme

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16, 91746 Weidenbach, michael-bauer@outlook.de

² Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16, 91746 Weidenbach, patrick.noack@hswt.de

³ OSB AG, Theresienhöhe 30, 80339 München, m.rothmund@osb-ag.de

unabhängig vom Boden, vom Klima und der Kultur einen unmittelbaren Nutzen erbringen. Gleichzeitig sind die Systeme für den Betrieb auf eine geringe Anzahl von Schnittstellen mit eingeschränkter Komplexität angewiesen.

Die Investitionen für die Anwendung von VRA-Technologie sind in den vergangenen Jahren erheblich gesunken. Bedingt durch die weite Verbreitung von Lenksystemen sind die meisten Fahrzeuge bereits ab Werk oder beim Kauf mit einem GNSS-Empfänger und dem ISOBUS ausgestattet. Ebenso können viele Anbaugeräte gegen einen vergleichsweise geringen Aufpreis mit ISOBUS-Funktionalität ausgeliefert werden.

Die für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung benötigten Applikationskarten werden seit mehreren Jahren von einer wachsenden Anzahl von Dienstleistern angeboten. Dies ist unter anderem auch darauf zurückzuführen, dass die Europäische Raumfahrtbehörde (ESA) die Fernerkundungsdaten der Sentinel-Mission kostenlos zur Verfügung stellt. Somit können sowohl die Dienstleister als auch Landwirte selbst ohne laufende Kosten und ohne vorherige Investition auf die Basisdaten für die Ableitung von Biomassekarten und Stickstoffdüngekarten zugreifen. Die Satellitendaten werden von Dienstleistern teilweise mit ebenfalls kostenlos zugänglichen Wetterdaten verrechnet. Die Applikationskarten werden in den meisten Fällen als ESRI-Shapedatei oder im ISO-XML-Format bereitgestellt [RW10].

Nachdem der ISOBUS auf Fahrzeug und Anbaugerät als Grundlage für die teilflächenspezifische Mengenregelung immer weitere Verbreitung findet und die Beschaffung und Erstellung von Applikationskarten eine geringe Hürde darstellt, besteht die größte Herausforderung in der Übertragung der Daten vom PC bzw. aus dem FMIS (Farm Management Information System, Ackerschlagkartei) auf das Terminal auf dem Schlepper. Die Übertragung erfolgt in den meisten Fällen mittels mobilen Datenträgern (z. B. USB-Speichermedien).

Aus technischer Sicht bereiten hierbei die unterschiedlichen Anforderungen an die Benennung von Dateien, das Vorhandensein vorgegebener Datenfelder und die Ablage in einer bestimmten Ordnerstruktur in der Praxis teilweise große Schwierigkeiten. Aus pflanzenbaulicher und organisatorischer Sicht wirkt sich gerade bei größeren Betrieben und bei Lohnunternehmen störend aus, dass eine kurzfristige Änderung (z. B. andere Düngierzusammensetzung) der Applikationskarte durch erneutes Übertragen mit erheblichem Aufwand verbunden ist, wenn Fahrzeug und Datenträger weit entfernt sind.

Um die Datenübertragung zwischen dem Fahrzeug und dem hofeigenen PC, Laptop oder einer Cloud-Lösung zu vereinfachen, hat die OSB AG ein ISOBUS-Telemetriesystem mit der Bezeichnung ISOconnect entwickelt, mit dem Applikationskarten und As-Applied-Karten (Dokumentation der tatsächlich ausgebrachten Mengen) mit Hilfe einer mobilen Datenverbindung sehr kurzfristig und ohne technische Hürden übertragen werden können.

Im Rahmen einer Abschlussarbeit wurden verschiedene Funktionen des Systems im Zusammenspiel mit unterschiedlichen Geräten validiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Test und die Zertifizierung einzelner Komponenten bei der Suche nach Fehlern und Schwachstellen im Gesamtprozess nicht ausreichend sind. Dies stellt vor allem für Anwender und das Servicepersonal von Vertriebspartnern immer wieder eine Herausforderung bei der Inbetriebnahme und der praktischen Anwendung dar.

2 Material und Methoden

2.1 ISOconnect

Das ISOconnect-System der Firma OSB AG wird mittels eines InCab-Connectors an den ISOBUS des Fahrzeugs angeschlossen und mit Strom versorgt. Es verfügt über eine serielle Schnittstelle zur Verbindung mit einem GNSS-Empfänger. Über diese Schnittstelle können GNSS-Positionsdaten im NMEA 0183 Format [NM19] zugeführt werden. Alternativ kann das Gerät die Daten vom ISOBUS im ISO 11783 (ehemals NMEA 2000) Format lesen, wenn diese durch einen am CAN-Bus angeschlossenen Empfänger bereitgestellt werden. Von zentraler Bedeutung für die Telemetriefunktion ist zudem das eingebaute Mobilfunkmodem.

Das Gerät agiert auf dem ISOBUS als UT-Client. Diese Funktion ermöglicht es, den Status des GNSS-Empfängers und der Mobilfunkverbindung auf einem ISOBUS-Terminal (Universal Terminal, UT) darzustellen. Auf der Bedienoberfläche können auch Einstellungen am Gerät verändert werden.

Das System kann auf dem ISOBUS als Task Controller (TC-GEO und TC-BAS, [IO19]) agieren und ebenso als Datenlogger (LOG) eingesetzt werden. Es verfügt über eine USB-Schnittstelle, so dass die über Mobilfunk empfangenen Daten (z. B. Applikationskarten) wie auf einem USB-Speichermedium abgelegt und bei Bedarf auch anschließend per Kabelverbindung auf ein Terminal übertragen werden können.

2.2 CAN-Bus-Teststand / NMEA Simulator

Für die Durchführung der Untersuchungen kam ein CAN-Bus-Teststand zum Einsatz. Das System ist mobil und verfügt über eine eigene Stromversorgung. Ein am Teststand angebrachtes CCI 200 UT-Terminal (Competence Center ISOBUS e.V.) kann mit Hilfe von angebrachten Kabelsätzen einfach mit einem GNSS-Empfänger sowie mit verschiedenen Anbaugeräten verbunden werden.

2.3 NMEA-Simulator

Für den Test der Funktion TC-GEO sind die Positionsmessungen eines GNSS-Empfängers erforderlich. Um die Versuche effizient, unabhängig von der Witterung und unter definierten Bedingungen durchführen zu können, wurde ein GNSS-NMEA-Simulator eingesetzt. Er besteht aus einem Lenkrad und einer Konsole mit Gaspedal, Kupplung und Bremse. Nach dem Festlegen eines Startpunkts im Koordinatensystem WGS 84/Länge, Breite (EPSG 4326) berechnet die Simulation aus der aktuellen Bewegungsrichtung, der Geschwindigkeit und dem Lenkeinschlag neue Positionen auf Basis eines Einspurmodells. Position, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung werden fortlaufend in einer einstellbaren Datenrate als NMEA-Nachrichten über die serielle Schnittstelle ausgegeben.

2.4 QGIS und FMIS

QGIS (www.qgis.org) ist eine kostenlose GIS-Software mit der Option, Positionen eines GNSS-Empfängers darzustellen. Die Software wurde bei der Durchführung der Versuche genutzt, um die Position des Fahrzeugs auf der Applikationskarte zu visualisieren und im Nachgang die tatsächlich ausgebrachten Mengen mit den Sollmengen zu vergleichen.

Für die Erstellung der Applikationskarten wurde ein webbasiertes, kommerzielles Farm Management Informationssystem (FMIS) genutzt. Es ist lediglich für die Verarbeitung von TC-BAS XML Dateien zertifiziert.

2.5 Fahrzeuge und Anbaugeräte

Für den Funktionstest wurden ein Fendt 714 SCR, zwei Sämaschinen, ein Düngerstreuer sowie eine Feldspritze eingesetzt. Die TC-GEO-Funktion des Düngerstreuers wurde im Feld getestet. Die TC-GEO-Funktion der anderen Geräte wurde mit dem GNSS-Simulator im Stillstand überprüft.

2.6 Versuchsaufbau

Bei den Versuchen mit dem Simulator wurden die mit dem GNSS-Simulator erzeugten NMEA-Nachrichten über einen USB-Serial-Converter auf drei serielle Schnittstellen ausgegeben. Eine Schnittstelle diente der Anbindung an das Programm QGIS, die zweite Schnittstelle war mit den ISOconnect verbunden und die

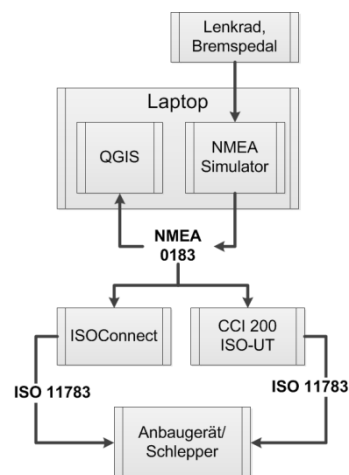


Abb. 1: Anschlussschema der Testumgebung SIMULATOR

dritte Schnittstelle mit dem seriellen Port des CCI 200 Terminals. Das ISOconnect, das CCI 200 Terminal und das Anbaugerät waren über einen Adapter auf einem CAN-BUS verbunden (s. Abb. 1).

3 Ergebnisse

Insbesondere durch den Einsatz des GNSS-Simulators konnten unterschiedliche Szenarien unter reproduzierbaren Bedingungen, unabhängig von der Witterung und ohne den Einsatz von Kraftstoff untersucht werden. Im Gegensatz zu anderen Simulationssystemen stellt der eingesetzte GNSS-Simulator aufgrund des integrierten Einspurmodells sicher, dass die simulierten Positionen dem tatsächlichen Bewegungsmuster eines Fahrzeugs bei der Feldarbeit entsprechen.

Die UT-Client-Funktion des ISOconnect wurde sowohl auf dem CCI 200 Terminal als auch auf den Terminals anderer Fahrzeuge getestet. Dabei traten in keinem Fall Probleme auf.

Die Erstellung der Applikationskarten im FMIS und die Übertragung auf das ISOconnect waren ebenfalls problemlos möglich. Die Aufzeichnung der tatsächlich ausgebrachten Mengen (As-Applied Map) auf dem ISOconnect erfolgte bei den ersten Versuchen mit einer Sämaschine nicht. Bei der Analyse der Applikationskarten stellte sich heraus, dass die Ursache hierfür nicht im ISOconnect, sondern im fehlenden „Data log trigger“ zu suchen war. Nach Ergänzung der entsprechenden Zeile (`<DLT A="DFFF" B="31"/>`) in der ISOXML-Datei wurden die ausgebrachten Mengen vom ISOconnect aufgezeichnet. Für die Dokumentation der mit dem Düngerstreuer ausgebrachten Mengen musste eine weitere Veränderung an der im FMIS erzeugten Auftragsdatei vorgenommen werden.

Bei den weiteren Versuchen und deren Auswertung traten Abweichungen zwischen den aufgezeichneten Mengen und den Sollmengen in der Applikationskarte auf. In den meisten Fällen lag es nahe, dass unterschiedliche Maßeinheiten zu den Abweichungen um mehrere Größenordnungen geführt haben. Zudem wiesen die Karten mit den Ausbringmengen in Einzelfällen einen deutlichen räumlichen Versatz zu den Sollwertkarten auf. Auch hier lag die Vermutung nahe, dass bei der Übermittlung des Geräteversatzes in und quer zur Fahrtrichtung unterschiedliche Einheiten verwendet werden.

Nicht zuletzt war auffällig, dass das Ein- und Ausschalten der Geräte am Feldrand und das Nachregeln der Ausbringmengen teilweise mit einem in der Praxis nicht zu tolerierenden zeitlichen und räumlichen Versatz erfolgte. Die Ursachen konnten im Rahmen der Untersuchungen nicht geklärt werden.

4 Schlussfolgerungen

Die Funktionsvalidierung des ISOBUS-Telemetriesystems ISOconnect hat gezeigt, dass die Zertifizierung einzelner Komponenten für die Überprüfung des Gesamtsystems nicht ausreicht. Beim komplexen Zusammenwirken aus FMIS, Terminal und Task Controller sowie deren Klienten im Jobrechner des Anbaugerätes treten Probleme auf, die den praktischen Einsatz erschweren oder zu Fehlern führen.

Der vorgestellte Versuchsaufbau aus einem CAN-Bus-Teststand und einem GNSS-Simulator hat sich als sehr geeignet erwiesen, um verschiedene Kombinationen aus Systemkomponenten unter realistischen Bedingungen zeit- und ressourceneffizient zu testen. Diese Tests sollten zukünftig weiterentwickelt und optimiert werden, so dass Fehler beim Betrieb von ISOBUS-Komponenten frühzeitig erkannt und behoben werden können. Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung wird sich in der Praxis nur dann durchsetzen, wenn die Funktionssicherheit aller Komponenten gewährleistet ist

5 Danksagungen

Die Autoren bedanken sich bei den Mitarbeitern der Landmaschinenschule in Triesdorf und den Mitarbeitern der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf für die Bereitstellung von Maschinen, Geräten und Material. Herrn Burkhard Fischer von der Firma OSB AG gilt besonderer Dank für die fachliche Betreuung und die Unterstützung bei der Fehlersuche.

Literaturverzeichnis

- [IO19] International Organization for Standardization: ISO 11783-10:2015. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 10: Task controller and management information system data interchange, 2019.
- [NM19] National Marine Electronics Association: NMEA 0183 Interface Standard, 2019.
- [No18] Noack, P.: Precision Farming - Smart Farming - Digital Farming, 1. Auflage, Wichmann Verlag, ISBN-10: 3879076456, ISBN-13: 978-387907645, 2018.
- [RW10] Rothmund, M.; Wodok, M.: ISOBUS – eine systematische Betrachtung der Norm ISO 11783. In: Claupein, W., Theuvsen, L., Kämpf, A. & Morgenstern, M. (Hrsg.), Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 163-166, 2010.

Automatisierte und digitale Dokumentation der Applikation organischer Düngemittel

Sebastian Bökle¹, David Reiser¹ und Hans W. Griepentrog¹

Abstract: In der Landwirtschaft nach guter fachlicher Praxis ist die organische Düngung ein unverzichtbarer Baustein. Aufgrund erhöhter Nitratbelastungen im Grundwasser steht diese jedoch in der Kritik. Digitale Lösungen können hier zu einer lückenlosen Dokumentation und Effizienzsteigerung beitragen. Zwei verschiedene Varianten wurden betrachtet: jeweils eine Applikation mithilfe eines ISOBUS-Loggers der Firma Exatrek und mit einem Harvest Lab 3000 Sensor der Firma John Deere zur positionsgenauen Aufzeichnung ausgebrachter Inhaltsstoffe in Gülle. Beide Varianten wurden mit der herkömmlichen Dokumentation mithilfe einer Gülleprobe und der Ausbringmenge verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine digitalisierte Dokumentation und Applikation in der organischen Düngung möglich ist und deutliche Vorteile bietet. Sie ermöglichen es einerseits, kommende Dokumentationspflichten zu erfüllen, und andererseits, die Nährstoffe präziser und nachvollziehbarer zu applizieren.

Keywords: Dokumentation, organische Düngung, NIRS, GPS-Logging

1 Einleitung

Deutsche Landwirte haben bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung eine Vorsorgepflicht zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource [GE17]. Allerdings erfordern die nach der EU-Nitratrichtlinie [RI91] seit Jahren erhöhten Nitratwerte im Grundwasser, vor allem unter Ackerflächen [BM17] in den so genannten „roten Gebieten“, erhöhten Handlungs- bzw. Dokumentationsbedarf. Somit braucht es Wege zur Reduzierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser. Mit der neuen Düngeverordnung sind Landwirte seit 2017 dazu verpflichtet, den Düngebedarf und die Nährstoffgehalte der Düngemittel und des Bodens zu bestimmen und zu dokumentieren.

Die Digitalisierung bietet hier in Form der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) vielversprechende Möglichkeiten, Messwerte unmittelbar bei oder vor der Applikation zu erhalten. Des Weiteren können die ausgebrachten Nährstoffmengen teilflächenspezifisch georeferenziert werden und dienen so einer ortsgenauen Dokumentation. In den DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) Prüfberichten wurden bisher mehrere Systeme in verschiedenen Güllearten geprüft. Durchflussmengenmesser werden in Kombination mit NIRS oder rein zur geschwindigkeitsabhängigen Ausbringung verwendet [JO19].

¹ Universität Hohenheim, Fg. Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion, Garbenstr.9, 70599 Stuttgart, sebastian.boekle@uni-hohenheim.de, dreiser@uni-hohenheim.de, hw.griepentrog@uni-hohenheim.de

In dieser Untersuchung wird zum ersten Mal ein GPS-Tracker/Logger zur Dokumentation und Berechnung der ausgebrachten Gülle- und Nährstoffmengen getestet. Dazu werden Daten aus den BUS-Systemen der Landmaschinen verwendet. Ein Vergleich der genannten Methoden wurde bisher nicht umgesetzt. Diese Untersuchung ist Teil des Projektes MRdigital [Gr19].

Das Ziel dieser Untersuchung ist, drei Methoden zur Dokumentation der Nährstoffapplikation in Form von Gülle einander gegenüberzustellen: 1. Laboranalyse, 2. ISOBUS Tracking und Laboranalyse und 3. Online-Stickstoffmessung mit NIRS-Technik. Es werden Vor- und Nachteile analysiert sowie der Mehrwert aus agronomischer und ökonomischer Sicht bewertet. Dies wird zusätzlich im Rahmen von gesetzlichen Dokumentationspflichten diskutiert.

2 Material und Methoden

Für die Analyse der drei verschiedenen Ansätze wurden zwei Felder in Baden-Württemberg gewählt und die Ausbringung der Gülle (jeweils Biogasgülle) mit zwei verschiedenen digitalen Dokumentationsverfahren aufgezeichnet. Die klassische Dokumentationsmethode wurde zusätzlich für beide Felder mithilfe einer Gülleprobe im Labor bestimmt. Die zwei betrachteten Schläge hatten eine Größe von 5,9 ha und 12,8 ha. Auf dem ersten Feld wurden ISOBUS-Daten bei der Applikation mithilfe eines Exatrek-T2-Loggers (Exatrek GmbH, Hamm, Deutschland) aufgezeichnet und daraus die ausgebrachte Menge bestimmt. Auf dem zweiten Feld wurde die ausgebrachte Menge mithilfe des NIRS-Sensors HarvestLab 3000 (John Deere, Moline, USA) ausgewertet. Der Exatrek-T2-Logger realisierte eine cloudbasierte Tracking Funktion. Das Modul bezog hier Traktor-BUS-Daten aus der ISOBUS-InCab-Schnittstelle eines Deutz Agrotion 9340TTV mit angehängtem Zunhammer Pumptankwagen MKE 14 TUL. Der NIRS-Sensor war auf einem Vervaet Hydro Trike, kurz vor dem Scheibeneggenverteiler installiert.

Die Ausbringmenge des Zunhammer Pumptankwagens wurde mit normaler GNSS (Global Navigation Satellite System) Genauigkeit mithilfe des Exatrek-T2-Loggers aufgezeichnet. Der Vervaet Selbstfahrer war mit Spurführungssystem (Differential GNSS - Genauigkeit SF1) ausgestattet. Hier wurde mit einer konstanten Ausbringmenge von 19 m³ Gülle pro Hektar appliziert. Der NIRS-Sensor realisierte 4000 Messungen pro Sekunde, welche gemittelt und auf fünf Datenpunkte pro Sekunde ausgegeben wurden. Die Daten wurden anschließend in dem Cloud-System MyJohnDeere eingelesen und visualisiert. Zur Analyse der Daten wurden die Messwerte anschließend im Shape Format exportiert und mithilfe von Excel (Microsoft, Sunnyvale, USA) und QGIS (QGIS Development Team/ Gary Sherman, Chicago, USA) analysiert. Da für beide Felder die tatsächliche Ausbringmenge und das Resultat der Gülleproben vorlagen, konnten die zwei digitalisierten Verfahren mit der herkömmlichen Methode verglichen und die gesetzlich verpflichtende Dokumentation ebenfalls pro Feld bestimmt werden. Da bei dem

verwendeten Zunhammer Pumptankwagen die Zapfwelle direkt mit der Pumpe verbunden ist, konnte direkt aus Pumpenvolumen p [l], Wirkungsgrad η (92 %, Angabe Zunhammer) und der Zapfwelldrehzahl n [U/min] die Durchflussmenge bestimmt werden. Zusammen mit der Zeit t [s], Geschwindigkeit v [m/s] und der Arbeitsbreite b [m], kann aus den ISOBUS-Daten die ausgebrachte Güllemenge wie folgt berechnet werden:

$$\text{Ausbringmenge} = n * \eta * p * v * b * \Delta t \quad (1)$$

Zusammen mit dem aus der Gülleprobe ermittelten Stickstoffgehalt ergibt sich durch die Aufsummierung die ausgebrachte Stickstoffmenge für den Schlag. Dieser Wert wurde mithilfe von Excel berechnet. Um aus den aufgezeichneten Daten des Exatrek-T2-Loggers die räumliche Verteilung der ausgebrachten Güllemenge zu bestimmen, wurde in QGIS jeder Datenpunkt auf die Arbeitsbreite des Verteilers von 15 Metern erweitert und alle sich überlappenden Zonen innerhalb eines 1 x 1-Meter-Rasters zusammenaddiert. Somit konnte die Ausbringmenge pro Quadratmeter angenähert bestimmt werden.

3 Ergebnisse

Bei flüssigen Gärresten hat der Landwirt immer eigene Analyseergebnisse des Substrates für die Dokumentation zu liefern. Sie sind an beiden Standorten Grundlage der herkömmlichen Dokumentationsmethode. Auf dem ersten Feld wurden rechnerisch auf der Fläche von 12,8 ha insgesamt 242,73 m³ auszubringender Biogasanlagengärrückstand ermittelt. Die Aufzeichnungen des NIRS-Sensors ergaben 239,98 m³. Dies entspricht einer Abweichung von 1,1%. Über die errechnete Ausbringmenge und die Laborwerte des Substrates wurde ein N-Wert von 104,4 kg/ha ermittelt. Der durchschnittliche Nährstoffeintrag aus der NIRS-Messung beträgt hingegen 73,69 kg/ha, was einer Abweichung von 29,44 % entspricht. Die errechnete Menge NH₄-N im Labor beträgt 59,74 kg/ha. Da die NH₄-Aufzeichnung im NIRS-Sensor nicht verfügbar war, wurde zur Berechnung dieses Wertes das Verhältnis zu Gesamt-N aus der Laborprobe zu Grunde gelegt und kommt somit auf dieselbe Abweichung. Da in Testberichten der Sensor für NH₄ größere Messfehler [DL18] wie für Gesamt N aufwies, ist hier von entsprechenden Abweichungen auszugehen.

Auf dem zweiten Feld war eine Nährstoffmessung online technisch nicht möglich. Somit entsprechen die Nährstoffkonzentrationen dem Verhältnis der Ausbringmengen. Die Werte in der Exatrek Dokumentation liegen 2,32 % über der rein rechnerischen Ermittlung. Die Werte der zwei Felder sind in Tabelle 1 aufgelistet. Auf Feld 1 wurde eine nahezu lückenlose Ausbringung umgesetzt. Die ausgebrachte Güllemenge variiert nur sehr gering über den Schlag, mit einer durchschnittlichen Abweichung von 3,3 % (siehe Abb. 1a). Die erkennbaren Unterschiede von Spur zu Spur sind dem hängigen Relief geschuldet. Bergauf konnte die Pumpe bei geringen Geschwindigkeiten nicht weiter herunterregeln, sodass es zwangsläufig zu leicht erhöhten Ausbringmengen kam. Bei der Auswertung der ISOBUS-Daten des Exatrek-T2-Loggers sind deutlichere Unterschiede erkennbar (siehe Abb. 1b).

	Feld 1 (12,8 ha)			Feld 2 (5,9 ha)		
	klassisch	NIR-Sensor	Abw. in %	klassisch	Exatrek-T2-Logger	Abw. in %
Gesamt m ³	242,73	240,01	1,12	63,25	64,72	-2,32
m ³ /ha	19,00	18,78	1,13	10,72	10,97	-2,32
N kg/ha	104,45	73,69	29,45	51,46	52,65	-2,32
NH ₄ -N kg/ha	59,74	42,15	29,45	30,00	30,70	-2,32

Tab. 1: Abweichungen der errechneten Werte von den gemessenen, digitalen Methoden

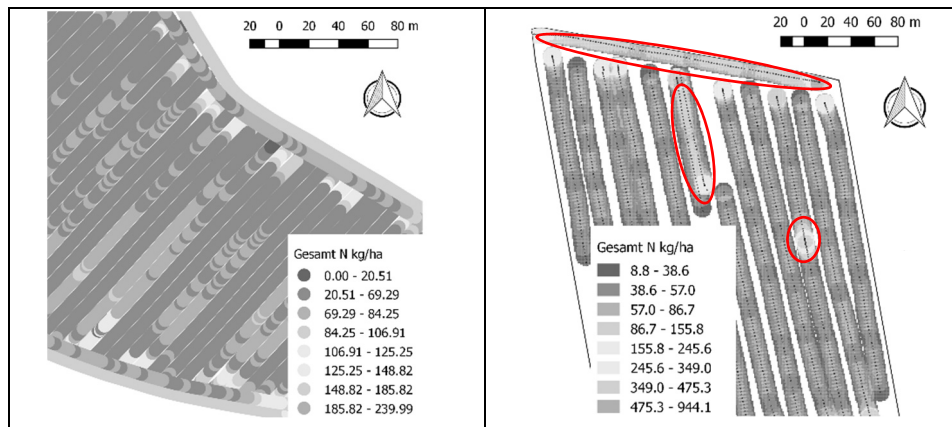


Abb. 1: (a) NIR-Sensor-Daten auf Feld 1, (b) Exatrek Spurlogging, 15 m Arbeitsbreite

Auf den rot eingekreisten Stellen wurde mehr Gülle ausgebracht als geplant. Der Fahrer fuhr hier nicht korrekt auf Anschluss und applizierte an punktuellen Stellen sowie im Vorgewende in einer zu langsamen Geschwindigkeit. Fehlstellen und Überlappungen sind bei dieser Methode deutlich erkennbar.

Neben der Verteilgenauigkeit in Fahrtrichtung ist eine genaue Querverteilung über die Arbeitsbreite des jeweiligen Verteilergestänges von Bedeutung, da auch hier, technisch bedingt, Umweltbelastungen auftreten können. Ergebnisse aktueller und länger zurückliegender Untersuchungen zeigen mittlere Abweichungen zwischen 1 und 4 % der Ausbringmenge über die gesamte Arbeitsbreite [DL97] [DL19].

4 Diskussion

Die Dokumentation der ausgebrachten Gärrestmenge über den NIRS-Sensor bildet die errechnete Menge auf 1,1 % genau ab. Dies bestätigt beide Methoden in ihrer Präzision. Dies bedeutet einerseits, dass von Hand errechnete Mengen verlässlich sind, jedoch eine gleichmäßige Ausbringung über die gesamte Fläche nur mittels NIRS-Sensor kontrolliert

bzw. aktiv und automatisch gesteuert werden kann. Es ist zu erwarten, dass bei kleineren Flächen die Ungenauigkeit der von Hand errechneten Werte zunimmt, da sich die relativ ungenaue Bestimmung der Füllstände der Ladungen bei kleineren Applikationsmengen stärker auswirken kann.

Die Unterschiede von 29,45 % in der Gesamt-N-Dokumentation entsprechen, je nach Kalibration, den Ermittlungen der DLG-Prüfberichte. Der Sensor erzielte im Prüfbericht für flüssige Gärsubstrate jedoch genauere Werte als die hier berichteten. Dies kann an der Kalibration des Sensors oder an Schwankungen innerhalb der Laborwerte [Ta19] liegen. Die Kalibration funktioniert gut für homogene Substrate ohne Zusätze. Heterogene und mit Zusätzen (bspw. Kalkschlamm) versetzte Substrate haben negative Auswirkungen auf die Messgenauigkeit. Im hier untersuchten Fall unterschätzt der Sensor die ausgebrachte Nährstoffmenge, was zu Überdüngung, möglicher Grundwasserbelastung und Ertragsausfällen durch Lager führen kann. Ein Vorteil der teilflächenspezifischen NIRS-Dokumentation im Vergleich zur händischen Methode ist, dass Stellen, an denen zu wenig Nährstoffe sind, teilflächenspezifisch mineralisch aufgedüngt werden können. Werden die Nährstoffmengen rein rechnerisch ermittelt, kann es im selben Schlag sowohl zur Über- als auch Unterdüngung kommen, welche zur Korrektur nicht lokalisiert werden können.

Der Dokumentation mit dem Exatrek-T2-Logger liegen die Nährstoffangaben aus der Laboranalyse zugrunde. Somit entsprechen die Nährstoffkonzentrationen proportional den Unterschieden der Applikationsmenge. Obwohl die dokumentierte Fahrstrecke über die Arbeitsbreite des Verteilers mehr Fehlstellen als Doppelapplikationen aufweist, liegt die errechnete Ausbringung leicht unter der vom Logger dokumentierten. Diese Differenz könnte an einem geringeren Wirkungsgrad der Pumpe als dem angenommenen liegen. Des Weiteren ist festzustellen, dass die Gesamtmenge rechtlich korrekt ausgebracht werden kann, es jedoch auf einzelnen Stellen dennoch zur Überdüngung und so zur Nitratbelastung im Grundwasser kommen kann. Dies ist ein hervorzuhebender Vorteil gegenüber der händischen Methode. Außerdem besticht der Datenlogger mit Einfachheit und kostengünstiger Umsetzung. Daher ist zu erwarten, dass in der Praxis eher ein mit passender Software ausgestatteter Datalogger zum Einsatz kommen könnte als ein sehr kostenintensiver NIRS-Sensor. Jedoch hat diese Methode nur die Möglichkeit, eine homogene Gülle anzunehmen, und somit auch entsprechende Limitierungen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass digitale Methoden zur Dokumentation von Gülleapplikationen bereits heute genutzt werden können und verschiedene Vorteile bieten. Ebenso konnte der Mehrwert einer georeferenzierten Dokumentation der Ausbringung in Form einer teilflächenspezifischen Aufdüngung gezeigt werden. So konnte auf der einen Seite eine sensorbasierte Auswertung exakte Informationen über Ausbringung und Nährstoffgehalt liefern. Auf der anderen Seite bot eine ISOBUS-basierte Auswertung der

Ausbringung bereits einen erheblichen Mehrwert gegenüber der herkömmlichen Dokumentationsmethode mithilfe einer Gülleprobe und gesamten Ausbringungsmenge. Es ist zu erwarten, dass die Dokumentationspflicht für Landwirte in Zukunft aufgrund der Nitratbelastung und neuer Umweltauflagen weiter zunimmt. Somit bieten diese beiden Digitalisierungsverfahren ein Potenzial, welches einerseits dem Landwirt die Dokumentation erleichtert und ihn auf der anderen Seite rechtlich gegen Vorwürfe der Überdüngung absichert.

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes MR digital, ein Projekt im Rahmen der Fördermaßnahme EIP-AGRI der Europäischen Union, durchgeführt. Wir danken der Europäischen Innovationspartnerschaft „Produktivität und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (EIP Agri)“ für die Förderung des Projektes.

Literaturverzeichnis

- [GE17] § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz - Einzelnorm. http://www.gesetze-im-internet.de/bodschg/_17.html. Stand: 4.11.19
- [RI91] RICHTLINIE DES RATES vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen(91/676/EWG).pdf. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/...>, Stand 6.12.2019
- [BM17] Nitratbericht 2016 - Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. 143. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF..., Stand: 4.11.19.
- [JO19] JOSKIN. Güllefass - Leitung und Kontrolle. Fa. *JOSKIN* <https://www.joskin.com/de/ausrustungen/gullewagen/leitung-und-kontrolle>. Stand: 4.11.19.
- [Gr19] Griepentrog, H. W., Weis, M., Weber, H. & Schneider, W. Maschinenring Digital (MR digital) In GIL Jahrestagung, Wien (Floto, H. Hrsg.): Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen 2019, Bonn, S.65-70, 2019.
- [DL18] DLG e.V. - Test HarvestLab 3000 (SW 132 – LKS 05/18) (2018), Prüfbericht 6887, <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/6887.pdf>, Stand: 06.12.2019.
- [DL19] DLG e.V. - Test 15 m BlackBird Schleppschuhgestänge mit ExaCut ECQ-Exaktverteiler (2019), Prüfbericht 7030, <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/pruefberichte/aussenwirtschaft/test-15-m-blackbird-schleppschuhgestaenge/>. Stand 9.12.2019
- [DL97] DLG e.V. - Gülle-Technik, Z. mit Drehkolbenpumpe und Rota-Cut, Schleppschlauchverteiler mit Tropfstop und Vogelsang-Zentralverteiler LV 40. 16. (1997), <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/4650.pdf>, Stand: 5.12.2019.
- [Ta19] Tastowe, Florian. Nährstoff-Schwankungen in Gülle? NIRS-Sensor regelt punktgenau. *top agrar* <https://www.topagrar.com/acker/news/naehrstoff-schwankungen-in-guelle-nirs-sensor-regelt-punktgenau-11839344.html> (2019). Stand: 4.11.2019.

Digitalisierung in der Aquakultur (Aquakultur 4.0)

Eine Onlineumfrage

Karsten Borchard¹, Christopher Steffen² und Stefan Meyer³

Abstract: Das Ziel dieser Umfrage war es, die Auswirkung der Digitalisierung auf deutsche Aquakulturbetriebe zu ermitteln. Als Aquakultur 4.0 wird die Digitalisierung im Bereich der Aquakultur bezeichnet. Als Datengrundlage für diese Untersuchung stehen die Ergebnisse einer eigens erstellten Onlineumfrage zur Verfügung. Es sollten auffällige Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede der Betriebe ermittelt werden. Neben allgemeinen Fragen, welche beispielsweise die Einstellung zu möglichen Chancen und Risiken der Digitalisierung behandeln, wurde auch der konkrete Einsatz von digitalen Technologien im Betrieb abgefragt.

Keywords: Aquakultur 4.0, Digitalisierung, Landwirtschaft, Kreislaufanlagen, Steuerung und Regelung

1 Einleitung

Durch das Wachstum der Weltbevölkerung und steigende Einkommen weltweit ist die Nachfrage nach Speisefisch stark gestiegen. Die Überfischung der Weltmeere führt zu einem starken Anstieg der Aquakulturproduktion weltweit. Schon die Hälfte der Nachfrage wird über Aquakulturprodukte gedeckt. In Europa und auch Deutschland spielen Teichwirtschaft und Kreislaufanlagen (RAS) eine große Rolle [Br01].

In der Industrie, respektive der Agrar- und Ernährungswirtschaft, hat die Digitalisierung an vielen Stellen Einzug gehalten, um präziser, ökonomischer und ressourcenschonender wirtschaften zu können. Auch in der Aquakultur sind die ersten Auswirkungen der digitalen Transformation zu spüren. Insbesondere hoch technologisierte Kreislaufsysteme (RAS) bieten vielseitige Einsatzmöglichkeiten für digitale Innovationen. Sie repräsentieren damit eine Möglichkeit für die zukünftige Entwicklung nachhaltiger und digitalisierter Aquakultur.

Im Rahmen einer Online-Befragung unter deutschen Aquakulturbetrieben wurde untersucht, wie digitale Technologien in der Aquakultur eingesetzt werden und wie groß das mögliche Potenzial ist. Welche Faktoren hindern die Betreiber, diese Techniken weiter

¹ MultiMediaLabor und Institut für Agrarökonomie, Fakultät für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel, kbo@mml.uni-kiel.de

² Institut für Agrarökonomie, Fakultät für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel, chris.steffen18@gmail.com

³ Institut für Tierzucht, Fakultät für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel, stefan.meyer@tierzucht.uni-kiel.de

einzusetzen? Welche Chancen und Risiken sehen die Betreiber in der Nutzung dieser Technologien?

2 Material und Methoden

Es wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit [St01] Expertengespräche mit einigen Anlagenbetreibern, die zu den „Early Adoptern“ der Digitalisierung in der Aquakultur gehören, geführt. Hier wurden im Vorfeld der Online-Befragung wichtige Erkenntnisse zur Aquakultur 4.0 gewonnen. Der Link zum Fragebogen zur Digitalisierung in der Aquakultur wurde an 170 Aquakulturbetriebe geschickt. Von diesen haben 34 (20 %) geantwortet, 17 (10 %) haben den Fragebogen vollständig beantwortet. Für eine Online-Befragung ist diese Rücklaufquote relativ gut.

Im soziodemografischen Teil, wo allgemeine Angaben zum Betrieb wie Standort und Anlagentyp abgefragt wurden, sind ebenfalls Fragen zum Ausbildungsgrad und Wissen über die Digitalisierung an die Betriebsleiter gestellt worden. Anschließend wurde der Digitalisierungsgrad der Betriebe untersucht. Wichtige Kriterien für den Digitalisierungsgrad sind der Einsatz digitaler Technologien der Betriebe (s. Abb. 2). Für die Digitalisierung spielt die Geschwindigkeit der Netzanbindung eine wichtige Rolle.

3 Ergebnisse

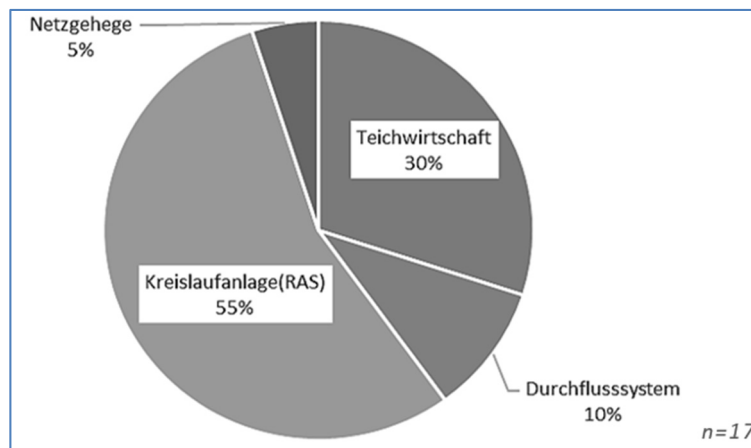


Abb. 1: Anteile der Produktionssysteme an der Stichprobe

Den größten Anteil der untersuchten Betriebe machen die Kreislaufanlagen mit 55 % aus, gefolgt von den Anlagen, die Teichwirtschaft betreiben (30 %). Durchflusssysteme und

Netzgehege machen 10 % und 5 % aus. Der Anteil der Kreislaufanlagen in der Bundesrepublik macht zurzeit einen Anteil von ca. 2 % aus [Fa01].

Der Digitalisierungsgrad ist in den Betrieben mit Kreislaufanlagen (RAS) am höchsten. Er beträgt 64 %. Hingegen sind bei den Teichwirtschaftssystemen nur 33 % digitalisiert. Bei den Durchflusssystemen ist ein Betrieb digitalisiert und ein Betrieb nicht. Die einzige Netzgehegeanlage ist nicht digitalisiert.

55 % aller beobachteten Betriebe betrachten sich als „digitalisiert“. Die Kreislaufanlagen (RAS) weisen einen höheren Digitalisierungsgrad (s.o.) auf als Anlagen mit Teichwirtschaft. Dieses ist u.a. dem Umstand geschuldet, dass sich die Teichanlagen häufiger im ländlichen Raum befinden. Rein flächenmäßig (qm) sind die Teichanlagen normalerweise größer, so dass eine Versorgung der Teiche mit vernetzter Mess- und Regeltechnik nicht so leicht zu realisieren ist. Funktechnologie und Stromanschlüsse sind an den einzelnen Teichen nicht überall vorhanden.

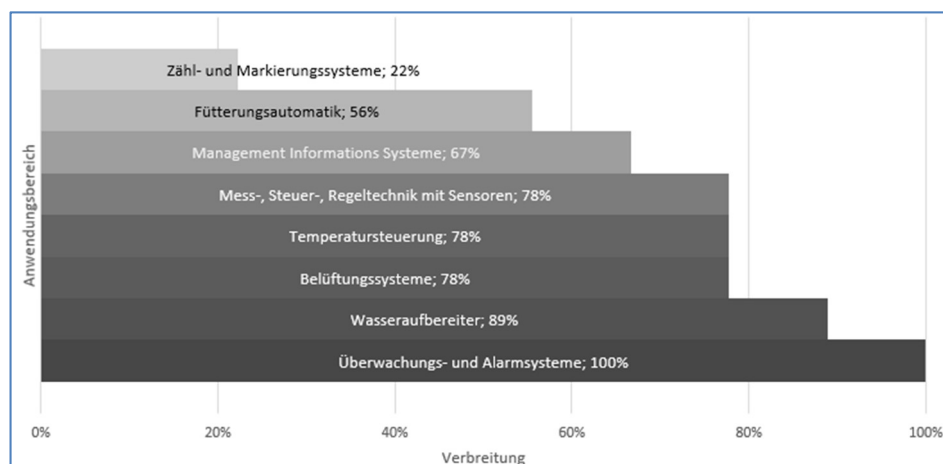


Abb. 2: Einsatz digitaler Technologien in der Aquakultur

Betrachtet man die angewandte Digitaltechnologie, die in den Betrieben eingesetzt wird, zeigt sich, dass Überwachungs- und Alarmsysteme in allen Betrieben eingesetzt werden.

Wasseraufbereiter werden zu 89 %, Mess-, Steuer-, Regelungstechnik, Temperatursteuerung und Belüftungssysteme zu 78 % eingesetzt. Managementinformationssysteme (MIS) immerhin zu 67 %. Zähl- und Markierungssysteme aber nur zu 22 %.

Bei der Auswertung des soziodemografischen Teils der Umfrage konnte festgestellt werden, dass der Großteil der Betriebsleiter und Betriebsleiterinnen über 50 Jahre alt ist. Es fällt der extrem geringe Anteil der nicht männlichen Betriebsleiter auf. In der Stichprobe gibt jeweils ein Teilnehmer an, nicht männlich zu sein. Dieses spiegelt auch

die Wahrnehmung der Autoren wider, dass es sich um eine sehr männerdominierte Branche handelt. Im Mittel verfügen die Betriebsleiter*innen über eine Berufserfahrung von 22,5 Jahren. Die Betriebe werden zu 88 % im Haupterwerb und zu 12 % im Nebenerwerb geführt.

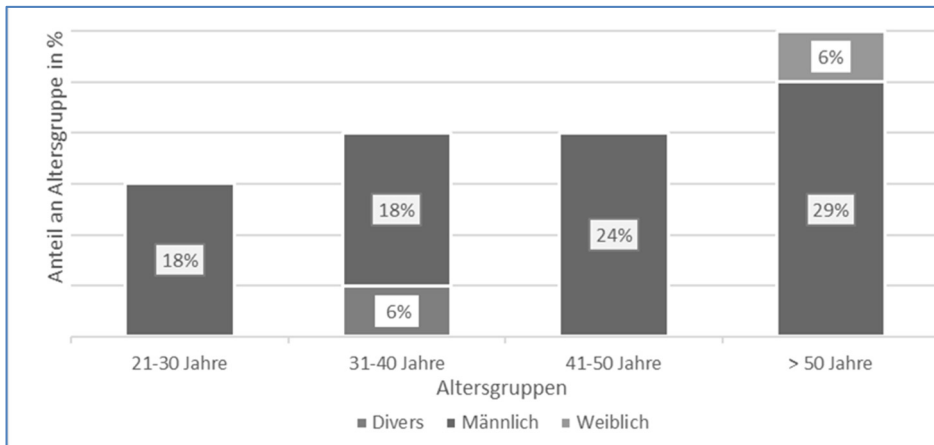


Abb. 3: Altersstruktur der Betreiber von Aquakulturanlagen

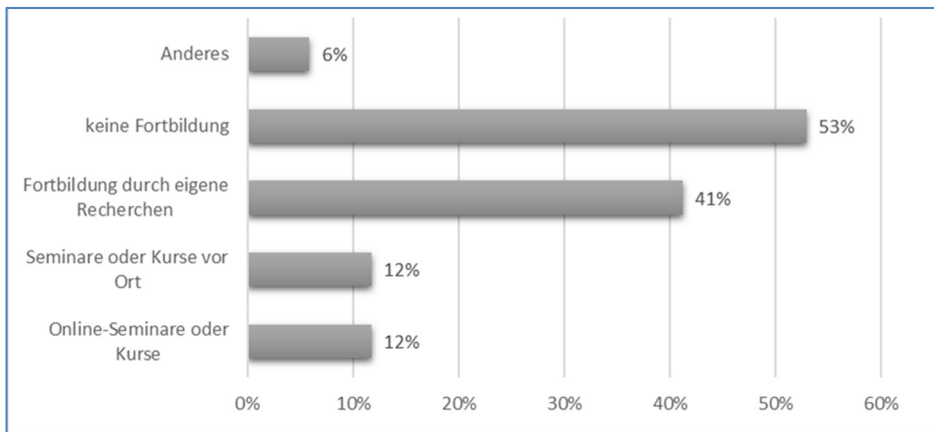


Abb. 4: Nutzung von Fortbildungen zur Digitalisierung in der Aquakultur

Die Altersstruktur der Betriebe erklärt möglicherweise auch die Art der Nutzung von Fortbildungen zur Digitalisierung in der Aquakultur. Fast 60 % der Betriebsleiter*innen

sind 40 Jahre und älter, ein Drittel ist über 50 Jahre. Die Bereitschaft älterer Berufs- und Bevölkerungsgruppen sich fortzubilden nimmt deutlich ab. Hier besteht noch eine (negative) Korrelation zum Bildungsgrad der Fortbildungswilligen. Je höher der Bildungsgrad, desto höher auch das Bestreben, sich fortzubilden [Bm01]. 41 % der Teilnehmer*innen an der Befragung geben an, sich durch eigene Recherchen fortzubilden. Dieses geschieht heute hauptsächlich online. Viele Fachzeitschriften liegen ebenfalls digital vor. Dieses spiegeln die folgenden Ergebnisse wider:

Wie die Auswertung der Befragung ergeben hat, ist der Zugang zum Internet nach eigener Aussage relativ gut. Der Festnetzzugang zum Internet ist in der Regel mindestens ausreichend. Die Mobilfunkverbindungen sind sehr unterschiedlich. Hier geben die Befragten an, dass die Verbindungen schlecht bis ausreichend sind. Die untersuchten Betriebe befinden sich zu einem Großteil in Norddeutschland (>50 %).

Die Befragung der Teilnehmer*innen zu Risiken der Digitalisierung ihrer Betriebe ergab, dass ein wichtiger Hinderungsgrund die hohen Anschaffungskosten entsprechender Technik ist. Bisher fehlen funktionierende, digitale Biomasseerfassungssysteme in der Aquakultur. Bringt die Digitalisierung am Ende monetäre Vorteile oder führt sie zu Wettbewerbsnachteilen? Diese Antworten finden sich auch bei [Ma01]. Hier wird auch von möglichen Nachweispflichten gesprochen, wenn die Technik eingesetzt wird. [Re01] spricht bei Landwirten auch davon, dass für Betriebssicherheit und Datenhoheit die Kenntnis bzw. das Bewusstsein fehlt. Dieses lässt sich aus den Antworten der Befragten ebenfalls ablesen.

4 Fazit

Die Ergebnisse dieser ersten Online-Befragung zur Digitalisierung in der Aquakultur zeigen, dass es große Unterschiede im Einsatz dieser Technologien gibt. Dieses ist abhängig davon, um welche Anlagenform es sich handelt. Sogenannte Kreislaufanlagen sind deutlich einfacher zu digitalisieren als z. B. Anlagen mit Teichwirtschaft oder Netzgehege im Meer. Hier scheitert die Digitalisierung schon an der Stromversorgung der Anlage.

Jedoch machen diese Betriebe in der Bundesrepublik nur einen sehr kleinen Anteil aus (>2 %). Hier ist jedoch noch ein großes Wachstumspotenzial vorhanden, sowohl in der Anzahl der Betriebe als auch im Grad der Digitalisierung.

Die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik mit Sensoren wird auch erst zu einer „echten“ Aquakultur 4.0-Anlage, wenn diese mit einem Managementinformationssystem gekoppelt ist. Bei den Zähl- und Markierungssystemen steht die Forschung noch am Beginn der Entwicklung.

Im Bereich der Netzversorgung der Betriebe werden sich in naher Zukunft auch noch Veränderungen ergeben. Durch verbesserte Breitbandversorgung und schnellere

Mobilfunkanbindungen (5G) sind Echtzeitanwendungen zur Überwachung und Regelung überhaupt erst möglich.

Die Ergebnisse des soziodemografischen Teils der Befragung zeigen, dass das Durchschnittsalter und die Berufserfahrung der Betriebsleiter*innen relativ hoch sind. Hier ist in Zukunft noch mit deutlichen Veränderungen zu rechnen.

Literaturverzeichnis

- [Bm01] Weiterbildungsverhalten in Deutschland 2016, Ergebnisse des Adult Education Survey AES-Trendbericht, Herausgeber: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Statistik, Internationale Vergleichsanalysen, Juli 2017.
- [Br01] Brämick, U. Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2017. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/EU-41/Fischereipolitik-Meeresschutz/JahresberichtBinnenfischerei.pdf?__blob=publicationFile, 2017.
- [FA01] FAO (Hrsg.). FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2017. FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics: Yearbook 2017 (Published 2019). Verfügbar unter <http://www.fao.org/3/ca5495t/CA5495T.pdf>.
- [Ma01] Martínez, J.: Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft – die rechtliche Dimension, Georg-August-Universität Göttingen. Verfügbar unter <http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-4ae5f9fa-478e-4ea1-be57-e45200688bab>, 2016.
- [Re01] Reuter, C., Schneider, W., Eberz, D., Bayer, M., Hartung, D. & Kaygusuz, C.: *Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft - mobil, dezentral, ausfallsicher*. <https://doi.org/10.18420/muc2018-ws12-0330>, 2018.
- [St01] Digitalisierung in der Aquakultur -(Aquakultur 4.0), Christopher Steffen, Bachelorarbeit, Fakultät für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie, 2019 (unveröffentlicht).

Digitalisierung in der Nutztierpraxis zur Verringerung des Antibiotikaeinsatzes

Sabrina Burkert¹, Rolf Nathaus², Franziska Fiege¹, Marcus Mergenthaler¹ und Marc Boelhauve¹

Abstract: Bakterien sind gegenüber antibakteriellen Wirkstoffen weltweit in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten unempfindlicher geworden. Das zeigt sich an mehrfach-resistenten Bakterien, die sowohl bei Tieren wie auch beim Menschen für schwerwiegende bis hin zu tödlichen Krankheitsverläufen führen können. Ziel des Forschungsprojektes ist es, den Antibiotikaverbrauch in der Nutztierhaltung durch die Digitalisierung von Laborbefunden weiter zu senken. Dies soll durch die verbesserte Auswahl des erstverschriebenen Antibiotikums auf der Basis von bereits vorliegenden digitalen Daten zur konkreten Resistenzsituation im jeweiligen tierhaltenden Betrieb oder der jeweiligen Region erreicht werden. Retrospektive Auswertungen von *in-vitro* Empfindlichkeitsbestimmungen haben gezeigt, dass es regionale Unterschiede in den Resistenzprofilen gibt. Es ist zu empfehlen, ein regionales und zeitlich dynamisches Resistenz-Monitoring aufzubauen, um diese Daten zur Auswahl des antibakteriellen Wirkstoffes für die Erstbehandlung mit heranzuziehen.

Keywords: Nutztierpraxis, Antibiogramm, Resistenz-Monitoring, Digitalisierung

1 Einleitung

Bakterien sind gegenüber antibakteriellen Wirkstoffen weltweit unempfindlicher geworden [Wo15]. Die Zunahme der antimikrobiellen Resistenz stellt eine wachsende Bedrohung für das gesamte Gesundheitswesen dar. Alle beteiligten Akteure sind herausgefordert, Resistenzen zu senken oder zu verhindern [Wo19]. Eine politische Forderung besteht u. a. in der Mengenreduktion von Antibiotikagaben in der Landwirtschaft. Ansatzpunkte zur Verringerung des Bedarfs bestehen in der Tierhaltung darin, die Tiergesundheit unter anderem durch Weiterentwicklung der Haltungsbedingungen zu verbessern [Bu16]. Antibiotika dürfen nur noch eingesetzt werden, wenn sie nach therapeutischen Gründen angezeigt und unbedingt erforderlich sind [Wo11]. Aber auch die unverzichtbare Behandlung kranker Tiere kann einen wesentlichen Einfluss auf die Menge der angewendeten Antibiotika haben. Zeigt die Indikation der Tierärztin oder des Tierarztes, dass erkrankte Tiere mit einem antibakteriellen Wirkstoff behandelt werden müssen, ist mittlerweile in vielen Fällen die Durchführung eines Antibiogramms (Antibiogrammpflicht) gesetzlich vorgeschrieben und das Ergebnis zu

¹ Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, burkert.sabrinamaria@fh-swf.de, fiege.franziska@fh-swf.de, mergenthaler.marcus@fh-swf.de, boelhauve.marc@fh-swf.de

² FarmTool Farmsoftware GmbH, am Campus 5, 48712 Gescher, rolf.nathaus@farmtool.de

dokumentieren [Ve18]. Da der Befund erst mit einigen Tagen Verzögerung vorliegt, werden die Tiere zunächst mit einem von der Tierärztin oder dem Tierarzt ausgewählten Antibiotikum („Erstverschreibung“) behandelt. Momentan kann die Auswahl beispielsweise auf Basis allgemeiner Beschreibungen zur deutschlandweiten Resistenzlage erfolgen [Bu18]. Diese Daten basieren nicht auf einer dezidierten, ortsspezifischen Grundlage, sind meist veraltet und entsprechen nicht der konkreten betrieblichen oder regionalen Resistenzsituation. Eine Intention der vorliegenden Untersuchung ist es, Grundlagen zu erarbeiten, um den Antibiotikaverbrauch in der Nutztierhaltung durch die Digitalisierung von Laborbefunden zu senken. Zukünftig soll die Auswahl des erstverschriebenen Antibiotikums durch die digitale Aufbereitung und Analyse vergangener Untersuchungs- und Labordaten erleichtert werden. So besteht die Möglichkeit, eine Entscheidung auf Basis bereits vorliegender qualitativer Daten zur konkreten Resistenzsituation im jeweiligen tierhaltenden Betrieb zu treffen.

2 Daten und Methode

Zusammen mit dem Unternehmen FarmTool Farmsoftware GmbH (Gescher, Deutschland) wird eine Anwendungssoftware als Onlinelösung für die tierärztliche Praxis entwickelt, welche es ermöglicht, betriebsinterne Erreger- und Empfindlichkeitsprofile zu erarbeiten. Die Software soll dabei helfen, bereits bei der Erstbehandlung erkrankter Tiere den antibakteriellen Wirkstoff mit der höchsten *in-vitro* Wirkpotenz auszuwählen und einzusetzen. Diese Datensätze sollen nicht einzig der behandelnden Tierärztin oder dem behandelnden Tierarzt nutzen. Sie können auch für anonymisierte Analysen herangezogen werden, so dass die Möglichkeit besteht, ein regionales und zeitlich dynamisches Resistenz-Monitoring aufzubauen. Für die Entwicklung solcher regionaler und betrieblicher *in-vitro* Empfindlichkeitsprofile, ist eine digitale Erfassung der Untersuchungsaufträge und Laborbefunde mit konkreter Zuordnung zu den untersuchten Tieren essentiell. Daher wurde im Rahmen des Projektes zunächst ein Anforderungsprofil an eine solche digitale Erfassung erstellt. Als Anforderungsprofil wurde ein Dokument zusammengestellt, welches die Auswahlmöglichkeiten der Anwendungssoftware aufzeigt. Anforderungen waren u. a. Schnittstellen zu externen Laboren, Zugriff auf betriebspezifische Daten beim Ausfüllen des Untersuchungsauftrages und die Erfassung von Proben mit einem Barcode. Als Vorbereitung auf die Einführung der Software wurde im Rahmen eines fragebogenbasierten Interviews im Juni und Juli 2019 vorab die Nutzerfreundlichkeit der aktuellen analogen Untersuchungsaufträge in persönlichen Einzelinterviews erfragt. Insgesamt enthält der Bogen 33 zu beantwortende Fragen. Davon wurden sechs Abfragen als offene Fragen gestellt. Weitere sieben Fragen konnten teils offen durch die zusätzliche Auswahlmöglichkeit „Sonstiges“ beantwortet werden. Es haben 17 Tierärztinnen und Tierärzte aus einer schweinebetreuenden Praxis in NRW und zwei Praxen in Schleswig-Holstein teilgenommen. Die erhobenen Daten wurden deskriptiv ausgewertet und relative Häufigkeiten berechnet. Aufgrund der bewussten Fallauswahl geben diese Ergebnisse kein verallgemeinerbares Gesamtbild ab, sondern gelten lediglich

für die spezifische Stichprobe. Um den Nutzen einer derartigen Anwendungssoftware aufzuzeigen, wurde mithilfe von retrospektiven Analysen der Grad der antimikrobiellen *in-vitro* Sensibilität in fünf Kreisen in NRW verglichen. Die ausgewerteten Ergebnisse der Jahre 2016-2018 stammten aus Kot-/tupfer-Proben von Ferkeln einer schweinebetreuenden Praxis, aus denen der Erreger *E. coli* isoliert werden konnte. Insgesamt kamen die Proben aus 64 Betrieben. Ziel war es, die Möglichkeit der Ermittlung von regionalen Unterschieden in der bakteriellen Resistenzentwicklung durch die Aufarbeitung bereits existierender Daten darzulegen, um somit u. a. das Potential einer digitalisierten Lösung den potenziellen Nutzenden zu präsentieren.

3 Ergebnisse

Auf die Frage „Auf welche Weise füllen Sie die Untersuchungsaufträge hauptsächlich aus?“ mit den Antwortmöglichkeiten 1: „Ausfüllen mit einem Stift auf dem ausgedruckten Untersuchungsbericht“; und 2: „Ausfüllen des Untersuchungsberichts am Computer“, gaben von den 17 befragten Tierärztinnen und Tierärzten alle (n=17) an, dass sie die Untersuchungsaufträge aktuell analog ausfüllen (Antwortmöglichkeit 1). Auf die Frage für wie sinnvoll Tierärztinnen und Tierärzte eine digitale Form der Untersuchungsaufträge mit automatischer Anzeige der Laborbefunde halten, fanden dies mehr als 50 % der Befragten sehr sinnvoll (12 von 17, Tab. 1).

Antworten	Häufigkeit (n)	Prozent
sehr sinnvoll	9	52,9
sinnvoll	3	17,6
mäßig sinnvoll	4	23,5
überhaupt nicht sinnvoll	1	5,9
Gesamt	17	100

Tab. 1: Antwortverteilungen auf die Frage: „Für wie sinnvoll halten Sie eine digitale Form einer App mit automatischer Auswertung bzw. Anzeige der Laborbefunde?“. n=17 Tierärztinnen und Tierärzte, Auflistung nach absteigender Häufigkeit der Antworten. Antwortmöglichkeiten: 1: sehr sinnvoll, 2: sinnvoll, 3: mäßig sinnvoll, 4: nicht sinnvoll, 5: überhaupt nicht sinnvoll

Die Frage „Welche Art der Untersuchungsaufträge ist für Sie angenehmer/leichter auszufüllen?“ mit den Antwortmöglichkeiten 1: „Ankreuzbogen ohne Freitext“; 2: „Ankreuzbogen mit optionalen Freitextfeldern“; und 3: „Bogen mit nur Freitextfeldern“ beantworteten ca. 94 % der Befragten, dass sie beim Ausfüllen der Untersuchungsaufträge einen Ankreuzbogen mit optionalen Freitextfeldern als angenehmer und leichter befinden (16 von 17, Tab. 2).

Antworten	Häufigkeit (n)	Prozent
Ankreuzbogen ohne Freitext	1	5,9
Ankreuzbogen mit optionalen Freitextfeldern	16	94,1
Gesamt	17	100

Tab. 2: Antwortverteilungen auf die Frage: „Welche Art der Untersuchungsaufträge ist für Sie angenehmer/leichter auszufüllen?“ mit den Antwortmöglichkeiten 1: „Ankreuzbogen ohne Freitext“; „2:“ Ankreuzbogen mit optionalen Freitextfeldern“; und 3: „Bogen mit nur Freitextfeldern“; n=17 Tierärzteinnen und Tierärzte

Auf die Frage „Wie bewerten Sie die Anzahl der Abfragen in den aktuellen Untersuchungsaufträgen?“ mit den Antwortmöglichkeiten 1. zu viele Abfragen, 2. viele Abfragen, 3. mäßig viele Abfragen, 4. wenige Abfragen und 5. zu wenige Abfragen gaben 14 Tierärztinnen bzw. Tierärzte an, dass es viele Abfragen bzw. zu viele Abfragen sind (Tab. 3).

Antworten	Häufigkeit (n)	Prozent
zu viele Abfragen	6	35,3
viele Abfragen	8	47,1
mäßig viele Abfragen	2	11,8
wenige Abfragen	1	5,9
Gesamt	17	100

Tab. 3: Antwortverteilungen auf die Frage: „Wie bewerten Sie die Anzahl der Abfragen in den aktuellen Untersuchungsaufträgen?“ mit den Antwortmöglichkeiten 1. zu viele Abfragen, 2. viele Abfragen, 3. mäßig viele Abfragen, 4. wenige Abfragen und 5. zu wenig Abfragen; n=17 Tierärztinnen und Tierärzte;

Ergebnisse der *in-vitro* Sensibilitätsanalysen

Ein Ergebnis der retrospektiven Analysen ist, dass die getesteten Wirkstoffe unterschiedliche antimikrobielle *in-vitro* Sensibilitäts- und Resistenzgrade in den fünf betrachteten Kreisen aufzeigen. Wird beispielsweise die Gruppe der Fluorchinolone betrachtet, scheint es zum Teil erhebliche Unterschiede im Resistenzprofil zwischen den analysierten Proben aus den Kreisen zu geben. Zwischen Recklinghausen und Steinfurt ergeben sich Unterschiede in den Sensibilitätsgraden für Danofloxacin von 33 % und für Enrofloxacin von 21 %.

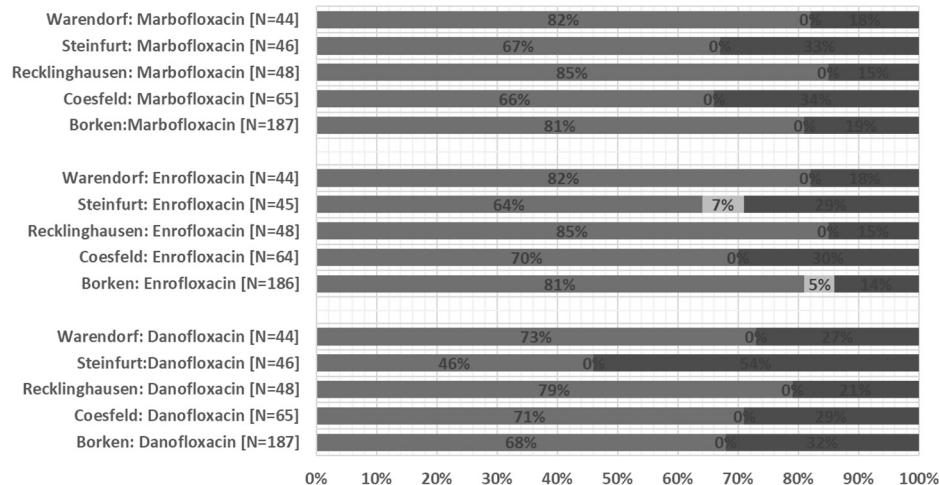


Abb. 1: Ergebnisse der *in-vitro* Sensibilitätsprüfung der Fluorchinolone. Bei den Wirkstoffgruppen lassen sich unterschiedliche *in-vitro* Empfindlichkeitsgrade in den Kreisen erkennen; grün/links: sensibel – orange/Mitte: intermediär – rot/rechts: resistent; Grenzwerte: Marbofloxacin S ≤ 1 , R > 1 ; Enrofloxacin: S ≤ 0.25 , I = 0.5, R > 1 ; Danofloxacin: S ≤ 0.25 , R > 0.25

4 Diskussion und Lösungsansätze

Die Ergebnisse aus den Auswertungen des Fragebogens zeigen, dass eine softwarebasierte Lösung aus Sicht der Tierärztinnen und Tierärzte sinnvoll ist. Die Auswertungen des Fragebogens geben Hinweise darauf, dass Tierärztinnen und Tierärzte nach einer digitalen Erfassung von tierärztlichen Untersuchungen kombiniert mit labordiagnostischen Befunden suchen. Dafür spricht, dass die bisherige Digitalisierung des tierärztlichen Berufs zur Vereinfachung von Arbeitsabläufen und zum Fortschreiten von Effizienz geführt hat [KB18]. Als Lösungsvorschlag kann die entwickelte Anwendungssoftware angeführt werden. In der Software können Informationen zur Erkrankung und Probenahme direkt im Betrieb ohne Internetverbindung digital erfasst werden und zugleich entsprechende Laborbefunde als digital verbundene Datensätze in einer einzigen Software gespeichert und für weitere Analysen genutzt werden. Die Erhebung digitaler Laborbefunde inklusive antimikrobieller *in-vitro* Empfindlichkeitsbestimmungen können u. a. Entscheidungshilfen für die betriebsindividuelle Auswahl des antibakteriellen Wirkstoffes bei Neuerkrankungen liefern. Der Großteil der befragten Tierärztinnen und Tierärzte befinden für das Ausfüllen des Untersuchungsauftrags einen Bogen mit optionalen Freitextfeldern am angenehmsten. Es sollte daher bei der Entwicklung einer Onlinelösung für die tierärztliche Praxis darauf geachtet werden, als Antwortoptionen sowohl Freitextfelder als auch vorgegebene Antworten zu programmieren. Außerdem sollte bei der Entwicklung einer Anwendungssoftware laut Befragungsergebnissen darauf geachtet werden, dass die Anzahl der Abfragen möglichst gering gehalten werden sollte,

wobei beachtet werden sollte, dass die für die Laboruntersuchung unerlässlichen Angaben abgefragt werden.

Die retrospektiven Auswertungen von *in-vitro* Sensibilitätsprüfungen weisen darauf hin, dass allgemeine Beschreibungen zur deutschlandweiten Resistenzsituation nicht ausreichend sind, um für die Erstverschreibung den antibakteriellen Wirkstoff mit dem höchsten antimikrobiellen Wirksamkeitsgrad auszuwählen. Die Analysen haben gezeigt, dass unterschiedliche *in-vitro* Sensibilitätsgrade allein für den Erreger *E. coli* und die Altersklasse Ferkel zwischen den betrachteten Kreisen existieren. Gründe für diese Unterschiede lassen sich derzeit noch nicht eindeutig bestimmen. Dabei deuten die Ergebnisse darauf hin, dass für eine zielgerichtete Auswahl des (erstverschriebenen) Antibiotikums enger gelegene Regionen in Deutschland, bestenfalls betriebsindividuelle Resistenzprofile betrachtet werden sollten. Diese Profile müssen aktuell sein, sowie den Tierärztinnen und Tierärzten und landwirtschaftlichen Betrieben zur Verfügung stehen. Die Aktualität der Daten kann besser durch eine digitale Erhebung erreicht werden. Es bleibt zu prüfen, ob und wie mit einer Verbreitung der Anwendungssoftware ein regionales und zeitlich dynamisches Resistenz-Monitoring aufgebaut werden kann.

Literaturverzeichnis

- [Wo19] World Health Organization: About AMR, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/antimicrobial-resistance/about-amr>, Stand: 03.12.2019.
- [Wo15] World Health Organization: Global Action Plan On Antimicrobial Resistance, https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/193736/9789241509763_eng.pdf?sequence=1, Stand: 04.12.2019.
- [Wo11] World Health Organization: Informationen für Landwirte, Tierärzte sowie Veterinär- und Lebensmittelsicherheitsbehörden, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/antimicrobial-resistance/antibiotic-resistance/factsheets/information-for-farmers,-veterinarians-and-veterinary-or-food-safety-authorities>, Stand: 03.12.2019.
- [KB18] Klopffleisch, R.; Bertram, C.: Gefahr oder Chance für den tierärztlichen Beruf?. Deutsches Tierärzteblatt 8/2018, S.1078-1083, 2018.
- [Bu18] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Berichte/07_Resistenzmonitoringstudie/Bericht_Resistenzmonitoring_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5, Stand: 03.12.2019
- [Bu16] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, https://www.bmel.de/DE/Tier/Tiergesundheit/Tierarzneimittel/_texte/AntibiotikaStrategieBMEL.html, Stand: 03.12.2019
- [Ve18] Verordnung über tierärztliche Hausapotheken (TÄHAV), https://www.gesetze-im-internet.de/t_hav/BJNR021150975.html, Stand: 17.10.2019

prospective.HARVEST – Optimizing Planning of Agricultural Harvest Logistic Chains

Arne de Wall¹, Christian Danowski-Buhren², Andreas Wytzisk-Arens³,
Kai Lingemann⁴ and Santiago Focke Martinez⁵

Abstract: The research and development project “prospective.HARVEST” aims at optimizing the process chain of silo maize harvesting, based on a predictive approach using prognosis data. New methods and tools have been developed utilizing remote and in-situ (geo-) data from a variety of data sources in order to enable farmers to optimize their logistic chains. Optimizations are computed as recommendations on several layers of the harvest process, from monitoring the crop over planning the inter-field and in-field coordination of harvesters and transport vehicles up to the surveillance and dynamic replanning of the ongoing harvest execution.

Keywords: Precision Farming, Smart Farming, Planning, Maize Harvesting, Logistic Chains

1 Introduction

Every year, farmers face a series of planning and logistical challenges when harvesting silo maize. Monitoring field status, degree of ripeness and estimated yield, planning the harvest order of fields as well as coordinating harvesters and transport vehicles are just a few examples of the complex but interdependent processes that farmers need to manage. Traditionally, the management of this process is done based on individual experience and simple manual structures. However, the current trend towards large-scale agricultural crop cultivation poses new challenges to farmers, since larger amounts of cultivated fields increase the complexity of planning, monitoring, as well as cultivation. Hereby, traditional methods reach their limits leading to an inefficient use of available resources and thus to avoidable costs for farmers. Deficits, for example, have been identified by Feiffer [Fe04] in terms of coordination-related poor machine productivity (>50%), and by Duttman et al. [Du14] in terms of high soil compaction overrun (63% on average) resulting in high costs per unit and negative side effects on the biosystem.

¹ 52°North Initiative for Geospatial Open Source Software GmbH, Martin-Luther-King-Weg 24, 48155 Münster, a.dewall@52north.org

² Bochum University of Applied Sciences, Department of Geodesy, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum, christian.danowski-buhren@hs-bochum.de

³ Bochum University of Applied Sciences, Department of Geodesy, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum, andreas.wytzisk-arens@hochschule-bochum.de

⁴ German Research Centre for Artificial Intelligence, Albert-Einstein-Str. 1, 49076 Osnabrück, kai.lingemann@dfki.de

⁵ German Research Centre for Artificial Intelligence, Albert-Einstein-Str. 1, 49076 Osnabrück, santiago.focke@dfki.de

Farmers are therefore seeking for a scalable approach to optimise their production processes in order to achieve cost savings and a more sustainable agriculture, thus becoming more competitive in a globalized modern market.

Nowadays, many approaches for optimizing agricultural logistic chains and in particular harvesting processes exist. However, past and current optimizations often focus on partial facets, e.g. waypath travel optimization and multiple machine coordination in- and off-field [Gal4; Ed17; SLH16]. In a holistic approach, automated decision support should be provided on several levels, starting with long-term monitoring of the harvest, via the optimization of the field sequence and up to foresighted and automated control of transport logistics. This poses new challenges to infrastructure and data management, which need to be integrated and interlinked across different levels.

The research and development project prospective.HARVEST addresses these challenges and aims to provide proactive decision support tools for farmers and dispatchers in order to improve the logistics of silage maize harvesting processes. For this purpose, a technical solution consisting of complementary services has been developed which uses modern information and communication technologies to control and monitor the complete logistics based on satellite, machine and other forms of geodata. In particular, the approach aims at maximizing the yield and the utilization of machines and other resources while minimizing machine downtimes and travel routes. The following paper summarizes some of the methodological approaches and gives an overview of the overall system architecture.

2 Multi-layered optimization of silo maize harvest

The aim of the project prospective.HARVEST is to increase the resource efficiency of harvesting processes by exemplarily focusing on silage maize. Hereby, multiple layers – each addressing different aspects of the complete harvest process – can be identified. Figure 1 illustrates the multi-layered architecture developed by the project, including the deployed components and their responsibilities.

Crop Monitoring: This layer is responsible for the continuous monitoring of crop ripeness and biomass for all fields of interest. To identify optimal harvest dates and to monitor field status, satellite data (e.g. originating from the European Copernicus programme) is being analysed and integrated with other data sources.

Capacity Planning: Once the harvest period for each field has been determined, the next step in the chain is the strategic planning of required resources for a set of cultivated fields considering their spatial distribution and suggested harvesting windows. This is dedicated to find an optimal harvest sequence based on available resources (e.g. harvesters, transport vehicles, employees) by solving inter-field travel routes and

considering further constraints such as working hours, ripeness degree, and available resources.

Daily Schedule Planning: This layer uses scheduling and optimization algorithms to create a work plan for in-field activities by predicting harvester and transport vehicle routes, processing time, and crop overloading windows. This enables farmers and contractors to better coordinate their resources and thus to increase machine productivity while reducing resource consumption.

Harvest Execution & Monitoring: This monitoring layer is responsible for tracking the harvest progress. Based on near-real time information remaining harvesting activities will be dynamically re-planned, e.g. in case of exceptional situations such as changed resource availability.

By following this multi-layered approach, prospective.HARVEST aims for an integrated optimization of the entire process chain by providing insight into all relevant aspects of the harvest process and to deliver recommendations to farmers and contractors where needed (e.g. field order according to shortest distance and target ripeness degree or recommended harvester infield route).

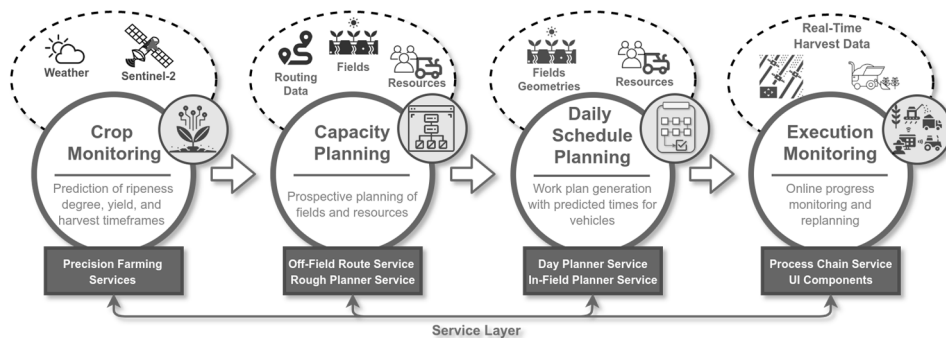


Fig. 1: The multi-layered optimization approach followed in prospective.HARVEST

3 The prospective.HARVEST Platform

prospective.HARVEST offers automated on-demand analysis and decision support tools and services for each of the phases mentioned above. They are implemented as complementary software services which are based on state-of-the-art information and communication technologies and which leverage a wide range of (spatial) data resources made available publicly (e.g. satellite data as published by the Copernicus programme) or offered by the various actors of the harvesting process (e.g. field boundaries and telemetry data) as well as third parties. The prototypical implementation forms a spatial information infrastructure and combines RESTful architectural styles based on OpenAPI

standardized interfaces as well as event-driven approaches for real-time processing and monitoring the progress of the field harvest. It offers applications for predictively planning, monitoring, and proactively controlling the individual links of the logistics chain. Amongst others, the service network comprises components for simulating off- and in-field processes, components for predicting the degree of ripeness and estimating the expected yield as well as components for managing and monitoring harvest execution and machine performance. The task of the In-Field Planner (IFP), for instance, is to generate routes for the harvest and transport vehicles aiming to optimize the machine usage and the harvesting duration for a given field. The computation of the routes is based on the geometry of the field, the static and dynamic parameters of the vehicles (incl. working widths, speed limits, bunker capacities, and current location and bunker states), the estimated biomass and dry-matter, user-defined parameters (incl. headland width and headland harvesting direction), and duration of out-of-field activities (incl. travel to and unloading at the silo). Figure 2 shows an example of the computed harvester (left) and transport vehicle routes (right) for a field. The generated routes are also used to estimate the duration of the harvesting process of each field and to plan the overall campaign. They are also presented to the drivers via a graphical user interface (GUI) while harvesting in order to suggest optimal driving routes. Moreover, the IFP offers dynamic planning, where maps of the area that has been already harvested are used together with the current states of the machines to re-plan the vehicles' routes in real-time during the harvesting process.

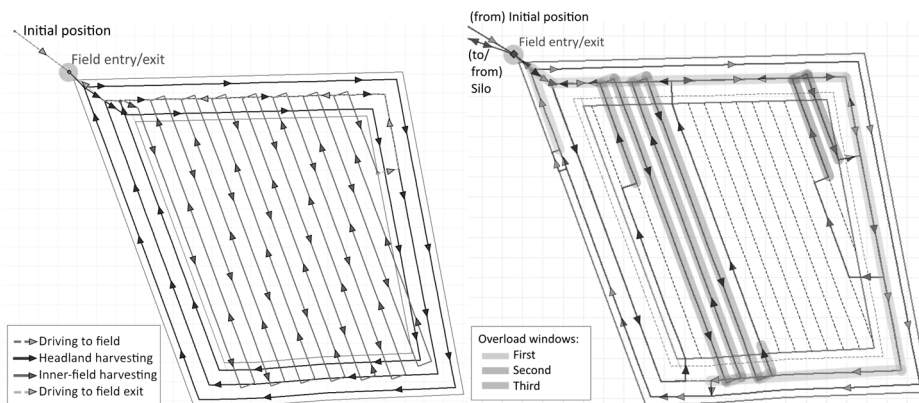


Fig. 2: *Left*: harvester route: 1. driving to the field (green); 2. harvesting the headland clockwise (blue); harvesting the inner field (magenta); 4. exiting the field (cyan)
Right: transport vehicle route highlighting three overloading windows: one in headland harvesting; two in inner field harvesting

4 Results and discussion

To evaluate the overall system, a total of three different field tests for silage maize harvesting were carried out by an agricultural holding in the area of Lower Saxony, Germany, within 2017-2020. Each year, one harvester and several transport vehicles handled approximately 15-20 fields of varying sizes and shapes by following prospective.Harvest recommendations. With each test period, the requirements with regard to testable components and expected results increased incrementally.

The evaluation of the final field test in 2019 revealed that the overall system worked stable and predominantly provided helpful planning recommendations for each step of the harvest chain. For instance, the comparison of forecasted biomass raster maps, acquired through the analysis of Sentinel-2 data, and the actual yield maps generated by the in-situ harvester Telematics system for 17 exemplar fields, reveals that the crop density is well reflected by the prognosis data. Although the pixel size of 10 meters is still too coarse to allow for fully automated high-precision harvester control, the biomass and dry matter maps and the monitored ripeness degree represent crucial information for the planning services that estimate the field's harvest duration through harvester progress simulation. Future improvements such as higher spatial resolution of remote satellite and in-situ weather data may produce even more realistic predictions.

Regarding the recommended field sequence computed by *Rough Planner* and *Off-Field Route Planner*, the field tests have shown that, from an abstract point of view, the inter-field travel route computation produces plausible spatially optimized field groups for each day of the harvest period. However, in reality, often farmers and dispatchers dynamically adjust field harvest sequences due to facts or constraints uncovered within the current logistic planning model (i.e. hands-on experience with traffic jams on certain roads at certain times). Still, the optimized field harvest order computed by the *Rough Planner* may serve as a solid starting point to plan the harvest for each day of the campaign that might be slightly adjusted to the farmers desires.

5 Conclusion

This paper presented the conceptual approach of a multi-layered optimization for silage maize harvest. The results showed that traditional farming competence can be expanded through the systematic analysis of agriculturally relevant geodata and – based thereupon – the automated and dynamic generation of harvest plans. However, not all recommendations were in line with the farmers' own experiences. For instance, the recommended field order partially diverged from the order chosen by the farmer, based on his long standing experience. Nonetheless, even experienced farmers may benefit from the various planning and monitoring components of the system. Foremost, the satellite data based prognosis data of biomass and dry matter density as well as the InField machine logistics simulation provide helpful insight on the harvest. As the

project is still ongoing, not all aspects from the harvest periods have yet been fully evaluated.

The prospective HARVEST project is funded by the German Federal Ministry of Food and Agriculture. The consortium consists of the industry partners CLAAS E-Systems GmbH, CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, 365FarmNet Group KGaA mbH & Co KG, and greenspin GmbH, cooperating with the research partners German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) GmbH, 52°North GmbH, and Bochum University of Applied sciences. The DFKI Niedersachsen Lab (DFKI NI) is sponsored by the Ministry of Science and Culture of Lower Saxony and the VolkswagenStiftung.

References

- [Fe04] Feiffer, A.: Großversuch mit dem CR 980: Einfluss des YARA N-Sensors auf die Mähdescherleistung. Zentrum für Mechanisierung und Technologie, Sondershausen, 2004.
- [Du14] Duttman, R.: Predicting Soil Compaction Risks Related to Field Traffic during Silage Maize Harvest, Soil Science Society of America Journal 78, 2014.
- [Ga14] Gaese et. al.: AgriLogFuture: Entwicklung eines Planungssystems zur Optimierung von Agrarlogistik-Prozessen, Referate der 34. GIL-Jahrestagung, 2014.
- [Ed17] Gareth T.C. Edwards: Route planning evaluation of a prototype optimised infield route planner for neutral material flow agricultural operations, Biosystems Engineering, Volume 153, 2017, Pages 149-157.
- [SLH16] S. Stock, K. Lingemann, J. Hertzberg, Towards a flexible hybrid planner for machine coordination in arable farming, In: A. Ruckelshausen et al. (eds.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Referate der 36. GIL-Jahrestagung, Osnabrück, 2016, Pages 205-208.

Der Umgang der Schweiz mit der Digitalisierung der Land- und Ernährungswirtschaft

Charta Digitalisierung

Nadja El Benni¹

Abstract: Der Beitrag zeigt, wie die „Charta Digitalisierung der Land- und Ernährungswirtschaft“ und ihre Akteure gemeinsam zur Digitalisierung der Schweizer Landwirtschaft beitragen und welches die Herausforderungen der Forschung, Privatwirtschaft und Verwaltung dabei sind. Es zeigt sich, dass es ohne den Staat kaum möglich ist, geeignete Instrumente zu entwickeln, und ohne die Privatwirtschaft der technologische Fortschritt nicht genutzt werden kann. Der Forschung und Beratung sowie dem Wissensaustausch kommt dabei eine bedeutende Rolle zu, um den Anschluss aller an die Entwicklungen zu ermöglichen.

Keywords: Charta Digitalisierung, Land- und Ernährungswirtschaft, Schweiz

1 Hintergrund

Sowohl in der tierischen als auch der pflanzlichen Produktion hat die Forschung und Entwicklung im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte erzielt und ist mittlerweile in der Praxis angekommen.

So begann die Entwicklung des Melkroboters in den 1980er Jahren und wird seit der Kommerzialisierung 1992 heute von zwischen etwa 25 % aller Milchviehbetriebe in Dänemark und Schweden und gut bzw. knapp 7 % in Deutschland und der Schweiz eingesetzt [Ba15; Gr19]. Auch im Ackerbau sind Technologien der Präzisionslandwirtschaft seit Beginn der 1990er Jahre auf dem Markt erhältlich. Dabei sind diagnostische Technologien, welche sensorbasierte Informationen z. B. zur Erntequalität liefern, aktuell weiter verbreitet als applikative Technologien, welche diese Informationen in einem Produktionsverfahren wie z. B. die teilflächenspezifische Düngergabe umsetzen [Fi19].

Die Adoption und Diffusion der verschiedenen Technologien liegt zum einen am technologischen Reifegrad, zum anderen an der noch ungenügenden Vernetzung, was den Informationsgewinn aus den Daten für das Betriebsmanagement entsprechend erschwert. Ein echter Mehrwert aus der Digitalisierung kann erst gewonnen werden, wenn ein

¹ Agroscope Wettbewerbsfähigkeit und Systembewertung, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz, nadja.el-benni@agroscope.admin.ch

flächendeckendes Breitbandnetz sowie Datenplattformen zur Verfügung stehen und die rechtlichen Rahmenbedingungen Datennutzungsrechte und Datenschutz gewährleisten.

Die agrarpolitischen Akteure der D-A-CH Länder sind sich dieser Chancen und Herausforderungen bewusst [BL18; BN18]. In der Schweiz wurde 2018 in einem breit abgestützten Prozess unter der Leitung des Bundesamts für Landwirtschaft eine Charta Digitalisierung verfasst, deren Inhalt und Umsetzungsstand anhand von Fallbeispielen in diesem Beitrag erläutert wird.

2 Die Charta Digitalisierung der Land- und Ernährungswirtschaft

Die Charta Digitalisierung der Land- und Ernährungswirtschaft dient der Umsetzung der im April 2016 verabschiedeten Strategie „Digitale Schweiz“ und möchte einen intensiven Austausch und eine verstärkte Zusammenarbeit aller relevanten Akteure der Land- und Ernährungswirtschaft fördern. Die Verwendung und der Umgang mit digitalen Agrardaten ist dabei von zentraler Bedeutung, wozu zwölf gleichwertige Leitlinien definiert wurden:

I Nutzen im Vordergrund. Stärkung der Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Akteure der Wertschöpfungskette, höhere Effizienz der Verwaltung, Reduktion administrativer Aufwand, Tierwohl, Schutz natürlicher Ressourcen, Ressourceneffizienz.

II Transparenz. Zugang zu Informationen über Nutzung der Daten und Existenz von Datenplattformen und deren Verwendung.

III Zugang zu Daten. Freier Zugang zu anonymisierten Daten, Zugang von nicht-anonymisierten Daten nach Freigabe durch Akteure, welche Daten generiert haben.

IV Befähigung. Nutzung von Daten durch offenen Austausch über definierte Schnittstellen.

V Fairer Wettbewerb unter den Anbietern zum Nutzen der Akteure entlang der Wertschöpfungskette.

VI Wert der Daten. Akteure, die Daten zur Verfügung stellen, sollen Nutzen daraus ziehen können und keinen Nachteil haben.

VII Datenhoheit. Von Akteuren und in Datenplattformen bereitgestellte Nutzung von Daten zweckgebunden und keine ungenehmigte Weitergabe der Daten an Dritte.

VIII Infrastruktur zur Datenübertragung. Entwicklung und Ausbau für alle Regionen der Schweiz.

IX Mehrwerte durch Vernetzung der Daten. Verwendung standardisierter Datenformate und Schnittstellen, Nutzung der Masterdaten & Übermittlungsformate Bund.

X Sorgfaltspflicht. Gewissenhafter Umgang mit Daten, Sensibilisierung, Übernahme von Verantwortung.

XI Forschung, Wissenstransfer, Innovation. Unterstützung der Forschung, Weiterbildung und Beratung, Nutzen von Synergien und Ressourcen, um Innovationen anzustoßen.

XII Technologische Entwicklung fördern, um Nutzen der Digitalisierung zu schaffen.

Seit der Lancierung im Juni 2018 unter der Schirmherrschaft von Bundesrat Johann N. Schneider-Ammann wurde die Charta Digitalisierung von mehr als 100 Unternehmen und Organisationen unterzeichnet. Ein Ausschuss aus Vertretenden der Forschung, Verwaltung, Industrie, Beratung und Praxis und verschiedene Arbeitsgruppen arbeiten Projekte entlang der Leitlinien aus und treffen sich jährlich zu einer Tagung.

3 Beispiele der Aktivitäten und Umsetzung der Leitlinien

3.1 Beitrag des Bundesamts für Landwirtschaft – VIII, IX, X

Ein Schwerpunkt des Bundesamts für Landwirtschaft im Bereich der Digitalisierung ist die Förderung des Datenaustausches. Das agrarpolitische Informationssystem AGIS, welches der Oberkontrolle im Bereich der Direktzahlungen und der Evaluation und Weiterentwicklung der Agrarpolitik dient, ist dabei ein zentrales Instrument. AGIS-Daten umfassen einzelbetriebliche Struktur- und Direktzahlungsdaten sowie die produzierte Milchmenge, sind alimentiert aus Datenbeständen der Kantone und der Milch- oder Tierverkehrsdatenbank TVD und können folgend dem Landwirtschaftsgesetz an Bundesbehörden und Dritte übertragen werden. Sowohl die elektronische Meldung als auch der Bezug von Daten erfolgt für registrierte User über das Portal Agate.

Eine weitere Aktivität des Bundes, welches in einem breiten Konsultationsprozess mit Kantonen und Behörden vorangetrieben wird, ist das Masterdatenkonzept, bei dem das Management öffentlich-rechtlicher Daten entlang der Lebensmittelkette mittels Harmonisierung und Standardisierung vereinfacht werden soll.

Mit dem Projekt Datenfreigabe für Dritte und Drittapplikationen (DfD2) sollen Lösungen entwickelt werden, mit der Bewirtschafter auf einfache Weise ihre Genehmigung für die Übermittlung von Daten, z. B. zuhanden von Label-Organisation, aus bestimmten Informationssystemen des Bundes erteilen können.

3.2 Barto AG – Leitlinien I, II, III, IV, VII, IX

Die 2017 gegründete Barto AG wird durch verschiedene Aktionäre der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft getragen und bezweckt die Erbringung von Dienstleistungen im IT-Bereich sowie den Aufbau und Betrieb von Softwareplattformen und -lösungen. Seit

März 2018 ist die in Kooperation mit dem Technologiepartner 365FarmNet entwickelte Smart Farming-Plattform online und wird seitdem für die Schweizer Rahmenbedingungen optimiert, was als „Helvetisierung“ der Plattform 365FarmNet bezeichnet wird.

Neben der Funktion als Datenplattform stellt barto verschiedene Module für landwirtschaftliche Betriebe zur Verfügung, um die Dokumentations- und Nachweispflichten administrativ zu vereinfachen. Das Modul „Tierverkehr Rinder“ zeigt unter anderem den tagesaktuellen Rinderbestand des Betriebes und ermöglicht die Meldungen an die TVD, die Generierung von Begleitdokumenten und die Bestellung von Ohrmarken. Das Modul „Suisse-Bilanz“ ermöglicht die Berechnung von Plan- und Kontrollbilanzen sowie der Futterbilanz für das agrarpolitische Programm graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion GMF [Ma19] und für den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN), welcher Voraussetzung für den Erhalt von Direktzahlungen ist. Das Modul „Wiesen- und Auslaufjournal“ dokumentiert die Bewirtschaftung von Grünlandparzellen und den Auslauf der Nutztiere und unterstützt damit die Nachweispflichten in Zusammenhang mit den Tierwohlprogrammen des Bundes. Um doppelte Dateneingaben zu vermeiden, hat das Bundesamt für Landwirtschaft mit der Barto AG den Zugang zu den einzelbetrieblichen Strukturdaten aus AGIS sowie der TVD vertraglich geregelt.

3.3 Swiss Future Farm – Leitlinien I, XI, XII

Die Swiss Future Farm ist eine seit 2017 bestehende öffentlich-private Partnerschaft zwischen dem Kanton Thurgau, der GVS Agrar AG und AGCO Corporation und hat zum Ziel, die Digitalisierung in der Landwirtschaft greifbar zu machen. Sie wurde auf dem ehemals von Agroscope und nun vom Kanton Thurgau geführten Versuchsbetrieb in Tänikon aufgebaut.

Mit der Swiss Future Farm werden drei Ziele verfolgt: Forschung und Entwicklung, Umsetzung, Wissenstransfer. Agroscope als Forschungspartner fokussiert auf ein gesamtbetriebliches, Indikatoren basiertes Management mit Hilfe der Digitalisierung, wobei der Versuchsbetrieb einem typischen klein-strukturierten diversifizierten Schweizer Landwirtschaftsbetrieb entspricht und als Plattform für unterschiedlichste Versuche in diesem Zusammenhang zur Verfügung steht. Die Swiss Future Farm stellt neben drei Mitarbeitenden die für die Umsetzung der Digitalisierung auf dem Pilotbetrieb benötigten Maschinen und ein FMIS zur Verfügung. Der Wissenstransfer und Wissensaustausch erfolgt durch das Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg vom Kanton Thurgau. In häufig gemeinsam durchgeführten Veranstaltungen findet der Wissenstransfer und Wissensaustausch zwischen Praxis, Beratung und Forschung statt.

3.4 Beitrag der Bundesforschung – I, XI, III, VI, XI, XII

Die landwirtschaftliche Ressortforschung von Agroscope im Themenbereich Digitalisierung verfolgt verschiedene Zielsetzungen.

Bei der Produktionsoptimierung mittels sensorgesteuerter, automatisierter Technologien steht die Entwicklung von Bewertungskonzepten und Indikatoren zur Eruierung des Nutzens und zur Entwicklung neuer Technologien im Vordergrund. Beispiele hierfür reichen von der Gewächshausproduktion [CA19] über den Acker- und Futterbau [LA19] bis hin zur tierischen Produktion [Sh19]. Bei der datenbasierten Entscheidungsunterstützung steht die Zusammenführung, Auswertung und Nutzung von produktions- und betriebswirtschaftlichen Daten zur Produktionsoptimierung im Vordergrund, wie z. B. bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung [Ar19] oder dem Tiermonitoring [Br19]. Handlungsempfehlungen an Politik und Beratung werden auf Grundlage der Kenntnisse (agrar)politischer Prozesse und Zielsetzungen und im Austausch mit den verschiedenen Akteuren der Land- und Ernährungswirtschaft entwickelt. Ein aktuelles Beispiel ist die Zulassung von Drohnen für Pflanzenschutzmittelapplikation. Außerdem werden basierend auf Erkenntnissen zu den Adoptions- und Diffusionsprozessen neuer Technologien Empfehlungen zuhanden Politik und Beratung abgeleitet, unter welchen Voraussetzungen die Digitalisierung erfolgreich in der Praxis etabliert werden kann.

4 Schlussfolgerungen

Die Unterzeichnung der Charta-Digitalisierung initialisierte als Impulsgeber die Digitalisierung des Sektors offiziell, wobei noch nicht abgeschätzt werden kann, ob die Organisation in einer Charta-Gemeinschaft einen nachhaltigen Mehrwert generiert.

Die Anreize einzelner Akteure, sich für die Digitalisierung zu engagieren, sind sehr unterschiedlich. Während ein breit abgestützter Diskurs zwischen allen Akteuren das gegenseitige Verständnis verbessern und Lösungswege aufzeigen kann, entstehen zum Teil Zielkonflikte, die das Vorankommen einzelner Aktivitäten verlangsamen. Die Organisation als Charta-Gemeinschaft ist wenig verbindlich und ein Anstoßen gemeinsamer Aktivitäten aufgrund nicht gesprochener zusätzlicher finanzieller Mittel geschieht vor allem durch die schon bisher öffentlich finanzierten Institutionen und engagierten Akteure.

Sowohl die Verwaltung als auch die Forschung ist zunehmend auf die Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft als Technologiepartner angewiesen. Um gleiche Chancen an der Teilhabe am technologischen Fortschritt zu schaffen, ist das Verständnis und die Akzeptanz der Digitalisierung bei den Betriebsleitenden wichtig. Das Projekt Swiss Future vereint die verschiedenen Ansprüche in einem im europäischen Raum bisher einmaligen Pilotprojekt. Aufgrund der vielfältigen Schnittstellen zwischen Akteuren der Privatwirtschaft und der öffentlichen Hand sind klare Koordinations- und

Organisationsstrukturen zwingend, auch um die Zusammenarbeit mit weiteren möglichen Partnern aus der Industrie und Praxis durch Vorbehalte gegenüber den in der Partnerschaft vertretenden Akteuren nicht zu gefährden.

Literaturverzeichnis

- [Ar19] Argento, F.; Anken, T.; Liebisch, F.; Walter, A.: Crop imaging and soil adjusted variable rate nitrogen application in winter wheat, Proceedings of the 12 European Conference on Precision Agriculture 8-11 July, ECPA, Montpellier, France 1-8, 2019.
- [BE18] Digitalisierung in der Landwirtschaft – Chancen nutzen – Risiken minimieren, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Referat 717, Rochusstrasse 1, 53123 Bonn, 2018.
- [Ba15] Barkema, H.W.; von Keyserlingk, M.A.G.; Kastelic, J.P.; Lam, T.J.G.M.; Luby, C.; Roy, J.-P.; LeBlanc, S.J.; Keefe, G.P.; Kelton, D.F.: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare, *Journal of Dairy Science* 98, 7426-7445, 2015.
- [BN18] Digitalisierung in der Landwirtschaft – Entwicklung, Herausforderungen und Nutzen der neuen Technologien für die Landwirtschaft, Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus, Stubenring 1, 1010 Wien, 2018.
- [Br19] Brown-Brandl, T.; Adrion F.; Maselyne, J.; Kapun, A.; Hessel, E.F.; Saeys, W.; van Nuffel, A.; Gallmann, E.: A review of passive radio frequency identification systems for animal monitoring in livestock facilities, *Applied Engineering in Agriculture* 25, 579-591, 2019.
- [CA19] Camps, C.; Andrianjaka-Camps, Z.N.: Optimized Prediction of Reducing Sugars and Dry Matter of Potato Frying by FT-NIR Spectroscopy on Peeled Tubers, *Molecules* 24, 967, 1-11, 2019.
- [Fi19] Finger, R.; Swinton, S.M.; El Benni, N.; Walter, A.: Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment, *Annual Reviews Resour, Econ*, 11 (online first), 2019.
- [Gr19] Groher, T.; Heitkämper, K.; Stark, R.; Umstätter, C.: Technology adoption across different enterprises in Swiss plant production. Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture, July 8-11, Montpellier, France, 86-87, e-book publication, SupAgro Montpellier, ISBN 978-2-900792-49-0, 2019.
- [LA19] Latsch, A.; Anken, T.: Soil and crop responses to a „light“ version of Controlled Traffic Farming in Switzerland, *Soil and Tillage Research* 194, 1-10, 2019.
- [Ma19] Mack, G.; Kohler, A.; Heitkämper, K.; El Benni, N.: Determinants of the perceived administration costs caused by the uptake of an agri-environmental program, *Journal of Environmental Planning and Management* (online first), 2019.
- [Sh19] Shafiqullah, A.; Z.M.; Werner, J.; Kennedy, E.; Leso, L.; O'Brien, B.; Umstätter, C.: Machine learning based prediction of insufficient herbage allowance with automated feeding behaviour and activity data, *Sensors* 19 (20), 4479-4498, 2019.

ISOBUS simulator for small and medium-scale manufacturers and farmers

Physics engine based HIL-ISOBUS-demonstrator

Marc Favier^{1, 2}, Yann Le Chevanton³, Amélien Marchal³, Vyndell Michael¹, Yaxu Xie¹, Runmao Zhao⁴ and Jörg Seewig¹

Abstract: Among large-scale farmers and agricultural machinery manufacturers, ISOBUS is a universally accepted standard for controlling implements since it simplifies the implementation of precision farming on farms and agricultural machines. However, for small and medium-scale companies, being a farmer or an agricultural machinery manufacturer, the implementation of ISOBUS is often seen as a time-consuming and expensive challenge. For this reason, the authors built a modular simulation-based demonstrator to showcase such small and medium-scale companies the simplicity of integrating ISOBUS in farming systems and the efficiency of this technology to conduct smart farming. The present paper describes the mechanism by which the real ISOBUS terminal can control virtual agricultural machines modeled in a physics engine.

Keywords: ISOBUS, precision agriculture, simulation, physics engine

1 Introduction

Large-Scale agricultural machinery manufacturers and farmers are convinced about ISOBUS as a key technology to simplify the implement interface and to implement Precision Farming and smart farming technologies. However, the small and middle-scale companies' awareness about the importance of ISOBUS is still weak. In order to disseminate ISOBUS-technologies, a certain number of products have already been developed in the past. They can be used by sales departments on exhibitions [OE17], or at universities for teaching purposes [Bo10]. All existing solutions are hardware-only based. To realize a demonstrator which is easy to use, the authors chose to build a simulation-based demonstrator which mainly comprises a physics engine and a real ISOBUS terminal. Both are connected through Simulink and Canoe. The simulator includes the Universal Terminal and the TC-GEO ISOBUS functionalities.

¹ Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik / Technische Universität Kaiserslautern, marc-alexandre.favier@mv.uni-kl.de; y_xie@rhrk.uni-kl.de; vmichael@rhrk.uni-kl.de; seewig@mv.uni-kl.de

² Sciences et Techniques des Équipements Agricoles / Agrosup Dijon; marc.favier@agrosupdijon.fr

³ Université de Technologie de Belfort Montbéliard, yann.le-chevanton@utbm.fr; amelien.marchal@utbm.fr

⁴ South China Agricultural University, PRC; Zhrm_2007@163.com

2 Materials and Methods

2.1 Field of application

A machine equipped with a front-loader and a manure spreader was chosen as main field of application. While the first one permits the user to test HMI-ISOBUS functionalities like UT and AUX-N [IS18], the second enables the test of precision farming ISOBUS functionalities such as the TC-BAS and the TC-GEO functionalities [IS15]. More precisely, UT makes the control of a fleet of machines with one single terminal possible and TC-BAS and TC-GEO enable variable rate application of crop protection products or fertilizers (Fig. 1).

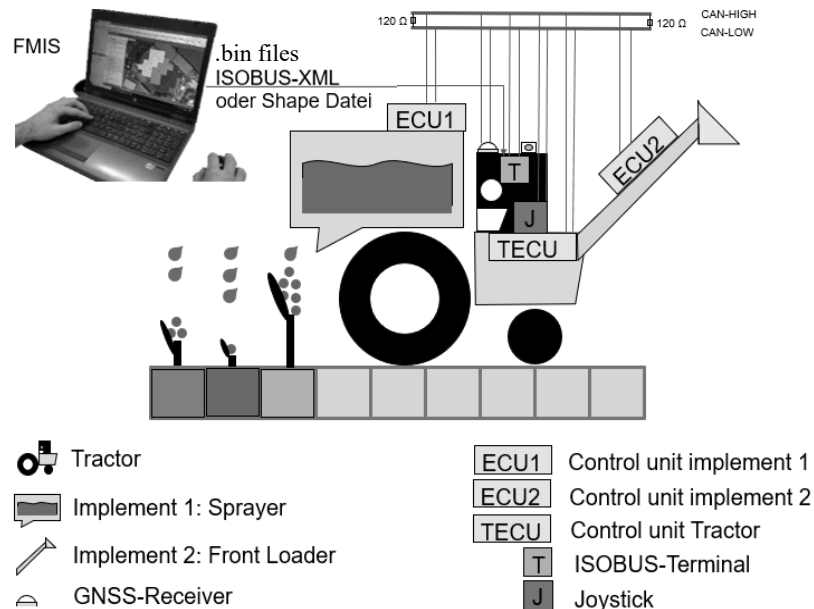


Fig. 1: ISOBUS system with spreader and front loader

2.2 Setup

The present demonstrator has two main parts: an actual ISOBUS terminal and a simulated ISOBUS-compliant machine – front loader (Fig. 2a) or sprayer (Fig. 2b). Real and virtual ISOBUS nodes are connected using a Vector CANCARDXLe PC-interface, the CANOE software (Vector Informatik GmbH) and Matlab/Simulink 18a. Thanks to a physics engine coupled to Simulink via UDP communication, it is possible to visualize the processed area like ground movements (Fig. 2a) or agrochemicals flow (Fig. 2b).

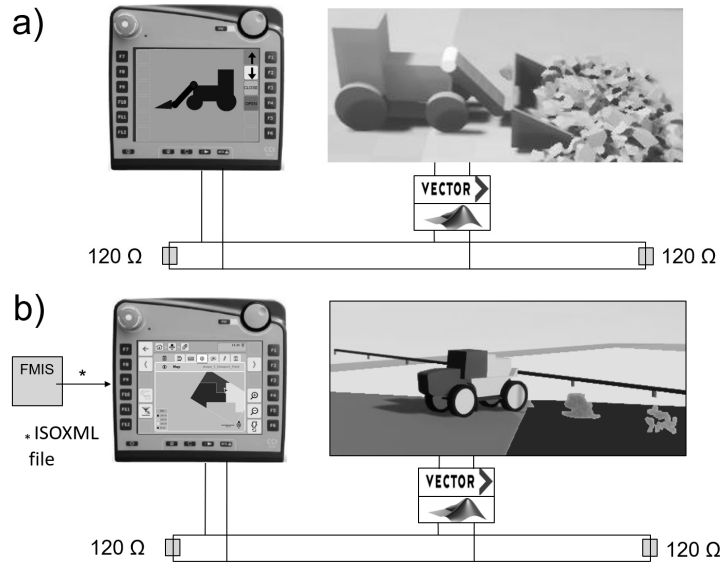


Fig. 2: Simulation-based demonstrator using the UT- (a) and the TC-GEO-Functionality (b)

As a transitional step before implementing ISOBUS on actual agricultural machines, a test box connected to the ISOBUS Terminal via ECU M10 can simulate the behaviour of a UT compatible implement. Additionally, to provide the test box with TC-GEO functionalities, a b-plus gateway must connect the ISOBUS Terminal and the ECU (Fig. 3b, Fig. 3c).

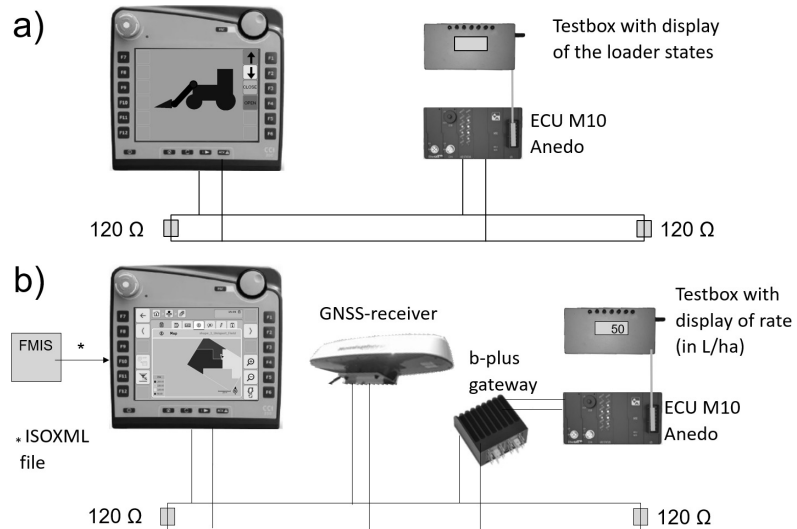


Fig. 3: Hardware-only based demonstrator: Test-Box

In addition to map-based Variable Rate Application (VRA) (Fig. 3a and Fig. 3b), it is also possible to perform sensor-based VRA (Fig. 3c). In this case, data from the N-Sensor is sent to the ISOBUS terminal via the protocol LH5000. The Connect App from CCI-ISOBUS transfers the data from the serial port RS232 to the Task Controller.

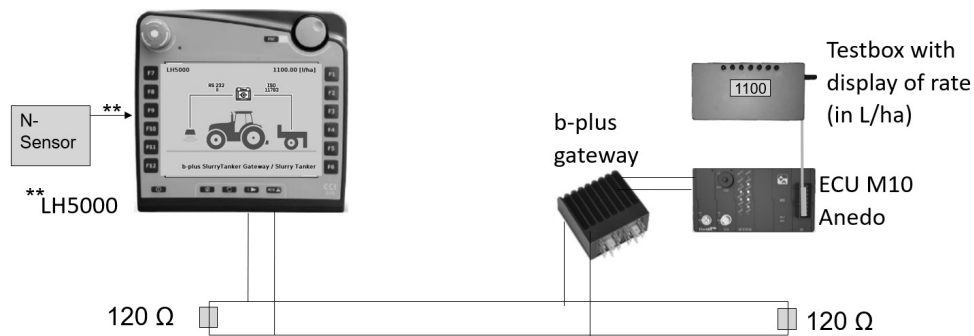


Fig. 4: sensor-based Variable Rate Application

2.3 Co-simulation between Real Terminal, Vector and a physics engine

The software CANOE (Vector Informatik GmbH) enables the communication between real ISOBUS nodes and virtual ones created in Matlab/Simulink (Fig. 5).

The farmers can directly see the spraying precision controlled through ISOBUS. Physics-engine-based simulations allow for getting plausible and rendered results of ISOBUS deployment scenarios. Thanks to the physics engine and the particles technology, it is possible to visualize the processed area and the flow of fertilizers or pesticides. The number and size of particles will depend on the flow of pesticides.

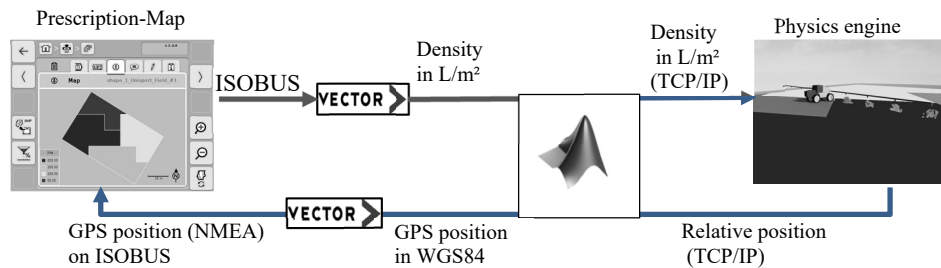


Fig. 5: co-simulation between the real ISOBUS-terminal, Vector, Matlab/Simulink and the physics engine

2.4 Simulink- and physics engine models

The physics engine model consists mainly of a 3D-multibody-mechanical-model of an agricultural machine and a terrain model. In order to provide Simulink Control-Loops with actual positions of the Tractor-Implement-System, some sensors are implemented in the physics engine as well. It is possible to adjust the level of determinism and to consider or not 3D-Bodies as cinematics or dynamics body, depending on the user-cases.

The Simulink models have two main functions. The first one is to convert the ISOBUS signals coming from the ISOBUS terminal via the software Canoe into physical values, which can be interpreted by physics engines, such as the position of mechanical parts or the quantity of liquids to be sprayed. Its second function is to set the speed and steering of the tractor to be transmitted to the physics engine. The tractor can be controlled automatically using a state machine or manually using a keyboard or a joystick.

Finally, the Matlab-Simulink model can be improved by the implementation of additional control loops for electrical and hydraulics actuators.

2.5 Development of the demonstrator

The development of the demonstrator can be summarized in 5 steps:

- Development of ISOBUS Object Pools with Jetter's ISO-DESIGNER
- Configuration of the virtual ISOBUS-network with Vector's CANOE
- Matlab/Simulink modelling of the agricultural machine, using Simmechanics, the Vector-Simulink-Toolbox and UDP-communication blocs
- Physics engine modelling of the agricultural machine
- ECU-programming with Codesys (in case of using the test box)

3 Results

The first VT- and TC-GEO simulations agree well with our expectations. Namely, operating a virtual UT- and TC-GEO compliant ISOBUS agricultural machine requires the same procedures as for a real machine. Using the demonstrators' actual ISOBUS terminal, the user can fill the bucket of the virtual loader and can spray on the virtual field at a variable rate controlled by the prescription map imported previously. (taskdata.xml imported from the Farm Management Information System into the terminal). In terms of Human Machine Interface, the virtual environment is quite responsive to the user inputs. The same user can clearly identify the processed area and the process variations – flow of agrochemicals or of loaded material – which both depend on the machine parameters.

This paper filled some lack of knowledge in terms of ISOBUS training systems. It introduced a simulator for different ISOBUS-based agricultural practices which is configurable depending on the users, being a farmer or a research and development engineer.

The simulator enables the farmers to appreciate and engage the different ISOBUS functionalities in a safe-environment. It allows developers of ISOBUS applications to create and test their solutions and consequently to reduce the number of cost-consuming tests with real machines.

4 Conclusions

The use of a modular and easy to use simulation-based demonstrator is a promising approach to demonstrate to small- and medium-scale companies, being a farmer or an agriculture machinery manufacturer, how ISOBUS could be applied to their farms or their products respectively. While Hardware in the Loop (HiL) permits to create user-scenarios close to their real-life counterparts, the use of physics engines enables a realistic and precise simulation of the agricultural machine. In the future, new features will be implemented in order to cover a wider range of scenarios. In the coming weeks, the demonstrator will be updated to enable section-control applications.

5 Acknowledgments

We acknowledge the support of the companies making this work possible, most importantly by Anedo providing the CCI200 and the ECU and by B-Plus providing the ISOBUS gateway. Thanks go as well to CC-ISOBUS e.V. and LACOS GmbH for very helpful personal communications. It must be mentioned that some contributions to this work could have only been made thanks to the European Union's program giving students the possibility to realize an Erasmus+ placement.

References

- [Bo10] Bosse, D.; Kinder, T.; Dzinaj, T.; Klose R.; Ruckelshausen, A.: ISOBUS-demonstrator for research and education in Landtechnik, S. 261-263, 2010.
- [IS18] ISO: Virtual terminal. ISO 11783-6, Geneva, 2018.
- [IS15] ISO: Task controller and management information system data interchange. ISO 11783-10, Geneva, 2015.
- [OE17] OEM Off-Highway: Anedo Debuts open:system Control Concept for Machine Automation at bauma, 2017. <https://www.oemoffhighway.com/electronics/press-release/12208727/anedo-debuts-opensystem-control-concept-for-machine-automation-at-bauma>, Stand: 10.12.2019.

Blockchain in der Verfahrensdokumentation von landwirtschaftlichen Betrieben

Zuordnung Hardware-basierter IT-Ökosysteme zu landwirtschaftlichen Anwendungsbereichen

Jan Henrik Ferdinand¹ und Yves Reckleben²

Abstract: Das Thema Blockchain geht heutzutage weit über die Kryptowährung Bitcoin hinaus. Besonders Software-basierte IT-Ansätze zur transparenten Darstellung von Lieferketten etablieren sich in der Land- und Ernährungswirtschaft. Obwohl Internet-der-Dinge-Netzwerke großes Potenzial für Blockchain-Ansätze bieten, zeigen Markt- und Literaturanalysen, dass Hardware-basierte IT-Ansätze für die Verfahrensdokumentation selten angewandt werden. Durch die Erstellung eines Blockchain-Nutzer Interaktions-Modells werden die Anwendungsfälle einzelner Blockchain-Plattformen spezifiziert und die Grundlage für technische Blockchain-Router-Konzepte geschaffen.

Keywords: Digitalisierung, Blockchain, Verfahrensdokumentation, Ökosysteme, Daten-Router

1 Einleitung

Der digitale Datenkreislauf landwirtschaftlicher Verfahren kann durch marktreife Technologien weder ganzheitlich abgebildet noch manipulationssicher gespeichert werden. Aufgrund fehlender herstellerunabhängiger Ansätze wird das Potenzial von Blockchain-Lösungen in der Agrarwirtschaft deutlich, und die Blockchain avanciert laut FAO zur am meisten diskutierten Technologie der heutigen Zeit [FI19]. Eine Untersuchung von McKinsey aus dem Jahr 2018 [Ca18] stellte heraus, dass der Einsatz von Blockchain-Technologien in der Landwirtschaft die größte Relevanz bei der Kostenreduktion und der gesellschaftlichen Wirkung hat. Weiterhin zeigte die Studie, dass die größte Einschränkung für eine Implementierung die vorherrschenden landwirtschaftlichen IT-Ökosysteme sind. Diese sind zukünftig vielfach datengestützt und benötigen deshalb eine sichere Transaktionsplattform. Um die digitalen Informationen als Substitut für analoge Unterlagen oder Rückstellmuster manipulationssicher auszutauschen und abzuspeichern, wird eine dezentrale land- und ernährungswirtschaftliche Interaktionsarchitektur benötigt, welche die Synergien verschiedener Anwendungsbereiche nutzt. Dabei spielen im Rahmen der

¹ Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH, Experimentierfeld BeSt-SH, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, jan-henrik.ferdinand@fh-kiel.de

² Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, yves.reckleben@fh-kiel.de

Verfahrensdokumentation vor allem Daten-Router eine entscheidende Rolle. Diese sind das Datenbindeglied zwischen den Anwendern und Ökosystemen. In der vorliegenden Arbeit soll gezeigt werden, welche IT-Ökosysteme sich mit einer gemeinsamen Blockchain-Plattform in einem Anwendungsbereich kombinieren lassen, um eine Mehrfachnutzung von Daten zu realisieren.

2 Grundlagen und Ausgangslage

Grundsätzlich besitzt ein Blockchain-System drei Merkmale. Zum einen ist dies die Dezentralität, welche die Daten vor Manipulation schützt, eine Kontrolle durch eine Drittpartei obsolet macht und eine direkte Validierung von Informationstransaktionen durch Konsensmechanismen ermöglicht. Weiterhin ermöglicht die (eingeschränkte) Öffentlichkeit der Blockchain eine Transparenz von Transaktionshistorien, um bei allen Nutzern einen aktuellen Datenstand zu gewährleisten. Durch die Gruppierung von Anwendern kann die Öffentlichkeit selektiv gesteuert werden. Als drittes Merkmal steht bei einer Blockchain vor allem die Irreversibilität der eingepflegten Informationen im Vordergrund. Sie trägt durch ihre Manipulationssicherheit vor allem zur Transparenz und Vertrauensbildung bei. [He18]

Neben den bekannten Kryptowährungen wie u. a. Bitcoin oder Ethereum, die als Grundlage eine Distributed Ledger Technologie (DLT) bzw. Blockchain-Technologie nutzen [MJ18], rückt der Einsatz von individuellen Lösungen immer stärker in den Fokus [Ca16]. Aufgrund diverser Einsatzszenarien und Anforderungen aus Wirtschaft und Industrie gewinnen neue Blockchains wie Hyperledger etc. neben den bekannten Blockchains an Bedeutung. Die hohe Vielfalt und die daraus resultierenden Varianten verfolgen dabei unterschiedliche Ziele, beispielsweise weniger Ressourcenverbrauch und/oder höherer Durchsatz sowie eingeschränkte Zugänge und Skalierungen. [MJ18]

In der Agrarwirtschaft liegen die Schwerpunkte der Blockchain-Ansätze besonders auf der Rückverfolgbarkeit, der Optimierung der Lebensmittelversorgungskette und der Transaktionsautomatisierung [St19]. Als bekanntestes Anwendungsbeispiel schaffte es die Supermarktkette Walmart in Zusammenarbeit mit dem Technologiepartner IBM und der Nutzung einer Hyperledger-Blockchain schon 2016, in einem ersten Test mit Hilfe von IoT-Technologie die Rückverfolgbarkeit von Mangos von ursprünglich 7 Tagen auf 2,2 Sekunden zu reduzieren. Mittlerweile werden über 25 Produkte mit dem entwickelten Blockchain-System zurückverfolgt. [HY19]

Eine Literaturstudie von Bermeo-Almeida aus dem Jahr 2018 untersuchte 10 wesentliche wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Blockchain in der Landwirtschaft. Dabei beschäftigten sich 6 von 10 Arbeiten mit der Gewährleistung der Nachverfolgbarkeit von Lebensmitteln bzw. deren Herstellungsprozess. Besonders hervorgehoben wurde in den Arbeiten der Fokus auf private Lösungen, was zusätzlich durch die Studie von Carson [Ca18] aus dem gleichen Jahr gestützt wird. Alle Blockchain-Ansätze zeigten positive

Resultate bei der Transparenz innerhalb der Lieferkette sowie eine Verbesserung von Zuverlässigkeit, schnellen und effizienten Abläufen sowie der Skalierbarkeit der Plattformen. [Be18]

Neben den größtenteils verbraucherorientierten Blockchainansätzen bieten digitale Zwillinge als Software-basierte Blockchain-Plattform lückenlose Verfahrenstransparenz [He18]. Hardware-basierte Blockchainansätze finden einzig im Geschäftsfeld „Smart Home“ u. a. beim Einsatz von smarten Stromzählern Anwendung [De18]. Die Hardware-bezogene Blockchain der landwirtschaftlichen Verfahrensdokumentation birgt gegenüber Software-basierten Ansätzen die große Herausforderung, die bekannten Ungenauigkeiten in der Positionierung und die Differenz zwischen dokumentierten Soll- und Ist-Mengen einzukalkulieren. Die maschinenbezogenen Dokumentationsdaten haben dabei unterschiedliche Datenaufösungen. Je nach Anwendungsfall müssen die Informationen auf Pflanzen-, Teilflächen-, Feld- oder Betriebsebene skaliert werden.

3 Blockchain-Nutzer Interaktions-Modell

Im Interaktionsmodell nach [De18] ist der Daten-Router für die Maschinendokumentation die *Connecting Hardware* zwischen den Anwendern und den Anwendungsfällen. Den definierten IT-Ökosystemen werden die jeweiligen Anwendungsfälle und Anwender zugeordnet. Die Zuweisung der Transaktionstypen findet nach dem Schema von Carson [Ca18] statt. Neben einer Auflistung der entsprechenden Datentypen werden die Blockchain-Arten nach Kategorisierung durch die Bitkom [Bi19] den IT-Ökosystemen zugeordnet. Jedem Anwendungsbereich liegt eine Blockchain-Plattform zugrunde, welche die Ökosysteme miteinander verbindet.

In nachfolgender Tabelle 1 ist das Interaktionsmodell beispielhaft dargestellt.

Anwender	Anwender
Anwendungsfälle	Anwendungsfälle
IT-Ökosystem 1	IT-Ökosystem 2
Transaktionstypen (dynamisch, statisch)	
Datentypen	
Blockchain-Arten (privat, Konsortium, öffentlich)	

Tab. 1: Allgemeiner Aufbau des Interaktions-Modells

Auf den folgenden Seiten sind die Interaktions-Modelle der vier landwirtschaftlichen Anwendungsbereiche nach dem einleitend genannten Schema aufgeführt.

LU, MR, Landwirt			Vermieter, Landwirt			Versicherung	OEM
Abrechnung	Logistik	Aufträge	Abrechnung	Logistik	Support	Nachweise	Wartung
Lohnarbeit			Vermietung				
dynamisch			dynamisch			statisch	dynamisch
<i>ISO-XML, EFDI</i>			<i>EFDI</i>			<i>Excel, pdf</i>	<i>proprietär</i>
Konsortium-Blockchains							Private Blockchain

Tab. 2: Anwendungsbereich Dienstleistung

Verwaltung, Landwirt			Verwaltung, Landwirt, Gesellschaft	
Kontrollvorbereitung	Smarte Vor-Ort Kontrolle	Mehrfachnutzung Daten	Monetäre Bewertung / Förderung	Kommunikation
Cross-Compliance			Ökosystemdienstleistungen	
statisch			statisch	
<i>Excel, pdf, Shape, jpeg/png</i>				
Private Blockchains				Öffentliche Blockchain

Tab. 3: Anwendungsbereich Verwaltung

Landwirt, Spediteur, Verarbeiter, Handel		Landwirt, Verbraucher		Staat, Verbände
Herkunftsnachweis	Lebensmittelsicherheit	Lebensmittelsicherheit	Kommunikation	Zertifikate / Label
Lieferkette		Direktvermarktung		
dynamisch		dynamisch		statisch
<i>Excel, GSI</i>		<i>Jpeg/png, Excel</i>		<i>Excel, proprietär</i>
Konsortium-Blockchains				Private Blockchain

Tab. 4: Anwendungsbereich Vermarktung

OEM, Dienstleister, Landwirt		Landwirt, Dienstleister		OEM, Dienstleister, Landwirt
Software- Aktualität	Datenvalidität	Geschäfts- beziehungen	Auftragserfüllung	Entscheidungs- unterstützung
Verfahrensqualität		Smart Contracts		IoT-Dienste
dynamisch		statisch		dynamisch
<i>Proprietär</i>		<i>GoLang, JavaScript, Python, Java, Solidarity etc.</i>		<i>POC UA</i>
Private Blockchain		Konsortium-Blockchains		

Tab. 5: Anwendungsbereich Landtechnik

4 Chancen und Risiken

Bei der Implementierung einer Blockchain-Plattform schaffen die damit einhergehenden Automatismen Vertragssicherheiten. Zusätzlich erhöht die Verfahrenstransparenz staatliche Fördermöglichkeiten. Die Dezentralität verhindert schlussendlich Datenmissbrauch und vor allem zentrale Datenmonopole.

Die Technologieanforderungen einer Implementierung schränken demgegenüber den Marktzugang ein. Die Unveränderbarkeit der Informationen erfordert hohe Datenqualitäten der eingesetzten Technik. Die Transparenz hat zusätzlich eine lückenlose Verfahrensdokumentation zur Folge, welche nicht einseitig gegen eine Partei verwendet werden darf.

5 Fazit und Ausblick

Die heutige Industrie 4.0 bringt bereits erfolgsversprechende Blockchainansätze hervor, wie u.a. [He18]. Die Blockchain-Plattformen in der Agrar- und Ernährungswirtschaft sind hingegen sehr heterogen verteilt. Obwohl nach Carson [Ca18] die vorhandene Technologie-Infrastruktur für Blockchain-Implementierungen geeignet ist, gibt es nur vereinzelte Blockchain-Initiativen in den Bereichen der Lebensmittellückverfolgbarkeit, der -versorgungskette, Ernteversicherung und der Optimierung von Transaktionen. Diese Ansätze sind primär Software-orientiert (vgl. Food Trust [HY19]). Dabei ist es zusätzlich denkbar, dass z. B. Getreide-Rückstellmuster in der Wertschöpfungskette digital manipulationssicher archiviert und so „ungenutzte Mengen“ in den Markt zurückgeführt werden könnten. Mit dem Aufbau einer weiteren Blockchain-Architektur auf Basis einer *Connecting Hardware* können innerhalb der vier spezifischen

Anwendungsbereiche mehrere IT-Ökosysteme miteinander verbunden und Daten nach klaren Transaktionsregeln ausgetauscht werden.

Auf Basis der ausgearbeiteten Interaktions-Modelle wird 2020 das erste Konzept eines Blockchain-Routers in enger Zusammenarbeit mit der Firma Exatrek entworfen. In dem EIP-Projekt „Treck Dat Mol“ werden auf Basis der erhobenen Verfahrensdaten die einzelnen Dokumentationsstufen und die damit einhergehenden räumlichen und zeitlichen Datenanforderungen ausgearbeitet. Im Rahmen der Datenerhebung durch das Experimentierfeld BeSt-SH in Schleswig-Holstein wird ein Datenvalidierungskonzept in Form einer „Datenampel“ erarbeitet. Diese dient anschließend als Grundlage für die Bewertung von Dokumentationsdatensätzen vor der Implementierung in die Blockchain-Architektur. Durch die bundesweite Initiative zur Schaffung einer Kommunikationsplattform in Form der GeoBox ist es zusätzlich denkbar, diese als Blockchain-Plattform testweise einzusetzen.

Literaturverzeichnis

- [Be18] Bermeo-Almeida, O. et.al.: Blockchain in agriculture: A Systematic Literature Review. In: Proc. 4th International Conference, CITI 2018, Guayaquil, Ecuador, 2018
- [Bi19] Bitkom e.V., Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.: Blockchain und Datenschutz - Faktenpapier, www.bitkom.org, Stand: 31.10.2019
- [Ca16] Cai, W. et.al.: Decentralized Applications: The Blockchain-Empowered Software System. Institute of Electrical and Electronics Engineers Volume 4, 2016.
- [Ca18] Carson, B. et.al.: Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value? McKinsey & Company, 2018
- [De18] Deloitte GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft: IoT powered by Blockchain. Issue 05/2018.
- [FI19] FAO und ITU, Food and Agriculture Organization of the United Nations und International Telecommunication Union: E-Agriculture in Action: Blockchain for Agriculture, Bangkok 2019
- [He18] Heber, D. et.al.: Digital-Twin Konzeption in der Automobilindustrie: Einsatzpotenziale der Blockchain-Technologie. Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik Nr.8, 2018.
- [HY19] HYPERLEDGER, The Linux Foundation: Case Study: How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric, www.hyperledger.org, Stand: 31.10.2019
- [MJ18] Maple, C., Jackson, J.: Selecting Effective Blockchain Solutions. in: European Conference on Parallel Processing, Turin, Italien, S. 392-403., 2018
- [St19] StartUs Insights, StartUs GmbH: 8 Blockchain Startups disrupting the Agricultural Industry. www.startus-insights.de, Stand: 31.10.2019.

Entwicklung des FlexScreen-Managementtools zur Erfüllung der staatlichen Dokumentationspflichten und zur kontinuierlichen Erfassung von Tiergesundheitsdaten in der Schweinehaltung

Franziska Fiege¹, Bettina Hundt², Juliane O'Hagan², Sabrina Reuter, Alexander Ellebrecht² und Marc Boelhauve¹

Abstract: Mit dem „Nationalen Aktionsplan Kupierverzicht“, welcher seit dem 1. Juli 2019 in Kraft getreten ist, und den Forderungen nach einer staatlichen Tiergesundheitsdatenbank, kommt erneut Bewegung in die Dokumentationspflichten für Landwirte und Tierärzte. Neben dem Antibiotikamonitoring (Dokumentation von Tierbewegungen und Behandlungen) müssen nun unter anderem auch Schwanz- und Ohrverletzungen dokumentiert und Risikoanalysen durchgeführt werden. Dieser Mehraufwand wird die Nachfrage nach einem optimierten digitalen Datenmanagement weiter forcieren, um so die Machbarkeit der geforderten Datenerfassung zu gewährleisten. Daher wurde im Rahmen des FlexScreen-Projektes ein Managementtool entwickelt, welches die Datenerfassung in den schweinehaltenden Betrieben vereinfacht. Ziel des Projektes ist es, durch eine tagesaktuelle Datenerfassung Veränderungen in den Tierbeständen schneller zu detektieren und somit frühzeitig tiergesundheitsstabilisierende Maßnahmen ergreifen zu können. Zusätzlich soll im Rahmen des Projektes ein mikrobiologischer Schnelltest entwickelt werden, welcher direkt vor Ort Ergebnisse liefert. So kann für die schweinehaltenden Betriebe mit Hilfe eines digitalen Datenmanagements und der routinemäßigen Erhebung von Tiergesundheitsdaten eine Lösung für aktuelle und zukünftige Herausforderungen angeboten werden.

Keywords: Monitoringmodell, Datenerfassung, Berichtspflichten, Kupierverzicht

1 Einleitung

Die landwirtschaftliche Tierhaltung in Deutschland steht immer weiter im Spannungsfeld zwischen den Forderungen nach mehr Tierwohl und Tiergesundheit bei gleichzeitiger Reduzierung des Antibiotikaeinsatzes und den damit einhergehenden steigenden Dokumentationspflichten bzw. Kontrollen. Die erste Erhöhung des Dokumentationsaufwandes kam 2014 mit der 16. AMG-Novelle. Bei dem eingeführten Antibiotikamonitoring [BV19] sind Bestandsveränderungen tagesaktuell zu melden und Antibiotikabehandlungen zu dokumentieren. Mit dem „Nationalen Aktionsplan Kupierverzicht“ zur Erfüllung der EU-Vorgaben steht nun eine weitere Dokumentationspflicht an. Seit dem 1. Juli 2019 müssen Landwirte die Unerlässlichkeit des Kupierens nach einem genau

¹ Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, fiege.franziska@fh-swf.de, boelhauve.marc@fh-swf.de

² ChainPoint GmbH, Emil-Nolde-Str. 7, 53115 Bonn, b.hundt@chainpoint.com, j.ohagan@chainpoint.com, a.ellebrecht@chainpoint.com

vorgegebenen Pfad dokumentieren. Neben einer Tierhalter-Erklärung müssen eine Risikoanalyse durchgeführt sowie Schwanz- und Ohrverletzungen festgehalten werden [BL19]. Diese und andere Herausforderungen machen eine einfachere Dateneingabe und nachfolgend ein verbessertes Datenmanagement in den Betrieben und betriebsübergreifend unerlässlich. Aber nicht nur zur Erfüllung der Berichtspflichten, sondern auch zur Verbesserung der biologischen Leistungen und somit auch der Wirtschaftlichkeit des Betriebes ist ein verbessertes Datenmanagement notwendig. Arenhövel beschreibt in ihrer Arbeit bereits die Herausforderungen und Veränderungen im Tiergesundheitsmanagement aus Tierärztesicht. Demnach gab es im Laufe der Jahre viele Ansätze, was ein solches Management ausmacht. Allerdings bezogen sich viele Ansätze auf die Auswertung von Schlachtbefunden und die retrospektive Auswertung von im Betrieb erhobenen Daten [Ar16]. Zwar konnten Blocks et al. schon 1994 einen signifikanten Zusammenhang zwischen den im Betrieb erhobenen Daten und den Schlachtbefunden herstellen, aber auch hier bleibt die Frage, wann und mit welchem Aufwand diese Daten erzeugt werden bzw. zur Verfügung stehen, um z. B. frühzeitig reagieren zu können [BVV94]. Für Arenhövel ist ein System, welches Leistungs- und Gesundheitsdaten zusammenfügt und sowohl für den Landwirt als auch für den Tierarzt einsehbar ist, ein wegweisender Schritt zur Verbesserung des Tiergesundheitsmanagements. Auch andere Autoren, wie Feucker, beschreiben ähnliche Ansätze [Fe09]. Das Potenzial innovativer IT-Lösungen, die in der Veredelungswirtschaft anfallende Daten erfassen, verwalten, verarbeiten, auswerten und somit strategische sowie operativ nutzbare Informationen zur Verfügung stellen zu können, ist deutlich sichtbar [Pa04]. Im Rahmen des FlexScreen-Projektes soll eine solche IT-Lösung geschaffen und validiert werden. Ziel des Projektes ist es, mit Hilfe einer Webplattform und einer integrierten mobilen App (FlexScreen-Tool) die Datenaufzeichnung und -vernetzung in den landwirtschaftlichen Betrieben zu vereinfachen und somit die Erfassung von Tierbestands- und -gesundheitsdaten entlang der Wertschöpfungskette zu erleichtern. Dadurch soll ein Tiergesundheitsmanagement-tool entwickelt werden, welches als IT-gestützte Informationsplattform der tierärztlichen Betreuung und den Landwirten zur Verringerung von Tiererkrankungen dient und als Datenerfassungssystem bei den zahlreichen Dokumentationspflichten unterstützt.

Neben der Datenerfassung und -auswertung steht die Entwicklung eines flexibel und kosteneffizient einsetzbaren Vor-Ort-Schnelltestsystems zur Detektion der potentiellen, lebensmittelrelevanten Zoonoseerreger *Campylobacter*, *Salmonella* und *Yersinia* im Fokus des Projektes. Das FlexScreen-Tool kann somit im Rahmen von Bestandsuntersuchungen präventiv eingesetzt werden, um bereits frühzeitig einen möglichen negativen Eintrag von Pathogenen in die Tierhaltung bzw. das spätere Endprodukt zu vermeiden.

2 Daten und Methode

In die Entwicklung des FlexScreen-Tools wurden relevante Nutzergruppen und Experten einbezogen. So wurden vorab mittels einer Gruppendiskussion die Anforderungen sei-

tens der Landwirte an ein solches Tool abgefragt. Daraufhin wurde das Anforderungsdokument und das Vertrauenskonzept erstellt und die Softwareentwicklung gestartet. Auf Basis der Gruppendiskussion wurden die Nutzerprofile und Autorisationsrollen erstellt. Für jedes Nutzerprofil können selektive Zugriffsrechte hinterlegt werden, sodass Kontrolle über die Dateneingabe und -weitergabe besteht. Neben dem Datenschutz sind drei weitere Schwerpunkte für die Entwicklung des Tools wichtig.

1. Erfüllung der (staatlichen) Dokumentationspflicht (v.a. Meldungen an HIT und TAM, Bestandsbuch, QS, Dokumentation Kupierverzicht)
2. Mehrwert für die Landwirte (Auswertung von biologischen Leistungen, vereinfachte Datenerfassung im Betrieb, Erhebung von Tiergesundheitsdaten)
3. Betriebsübergreifende Datenvernetzung (aus Bestandsbetreuung, Schlachtdaten)

Auf Basis der ersten Ergebnisse aus den Gruppendiskussionen und dem darauf basierenden Anforderungsdokument wurden die ersten Formulare zur Datenerfassung erstellt. Diese wurden anschließend evaluiert und kontinuierlich an die betrieblichen Bedingungen angepasst und erweitert. Im nächsten Schritt wurde die Pilotgruppe erweitert und ebenso die Tierärzte zunehmend in die Entwicklung mit eingebunden. Zusätzlich wurde das Tool durch Studierende der FH SWF im Rahmen von Projekt- und Abschlussarbeiten zu unterschiedlichen Fragestellungen eingesetzt und somit fortfolgend Tiergesundheitsdaten erfasst sowie technische Verbesserungsmöglichkeiten aufgedeckt.

So wurde das Tool im Rahmen einer mehrmonatigen Projektarbeit in einem Fütterungsversuch in der Ferkelaufzucht eingesetzt und getestet. Für den Versuch wurden 360 Ferkel in drei Versuchsgruppen aufgeteilt, wobei jede Versuchsgruppe über „Durchgang erfassen“ ihren eigenen QR-Code bekommen hatte, sodass sämtliche erhobene Daten jederzeit den Gruppen zugeordnet werden konnten. Für den Versuch wurden die Tiere mithilfe des Tools einmal wöchentlich bonitiert, sodass Daten von 11 Terminen mit je 120 Tieren je Gruppe vorliegen. Unter anderem wurden Parameter, wie Haut-/Ohren und Schwanzverletzungen, Lahmheiten, Husten und das Verhalten der Tiere in der Bucht regelmäßig digital erfasst.

Während die Nutzung des Tools durch die Studierenden vornehmlich der Validierung der kontinuierlichen Erfassung von Tiergesundheitsdaten dient, soll die Vergrößerung der Pilotgruppe der Weiterentwicklung des Tools dienen. Dabei soll das User-Feedback mittels leitfadengestützter Einzelinterviews abgefragt werden. Kernpunkte hierbei sind die Nutzerfreundlichkeit, die intuitive Bedienung sowie die Praxistauglichkeit des Tools. Des Weiteren stehen die Optimierung von mobilen sowie webbasierten Eingabefunktionen und von Workflows an und das Einrichten von Schnittstellen sowie die Erstellung von Auswertungs- und Berichtsfunktionen.

Zur Erfüllung der Dokumentationspflicht ist eine Erfassung der Tierbewegungen innerhalb eines Betriebes und zwischen Betrieben notwendig. Dazu wird jeder Tiergruppe bei der ersten Erfassung („Durchgang erfassen“) ein individueller QR-Code zugewiesen, welcher bei späteren Ereignissen (Verlustmeldung, Tiergesundheitskontrolle, Umstal-

lungen und Verkäufe) gescannt wird, sodass immer eine Rückverfolgbarkeit auf den jeweiligen Durchgang gewährleistet ist und damit z. B. durchgangsbezogene Auswertungen der biologischen Daten möglich sind. Die erleichterte Erfassung der Tierbewegungen und anderer im Stall anfallenden Daten wird über eine App, welche auch offline genutzt werden kann, gewährleistet. Die mobile App ist direkt mit der Onlineplattform verknüpft. Die direkt vor Ort im Stall erfassten Informationen können so in der Webversion abgerufen werden. Neben der Erfassung der Tierbewegungen für Mastschweine und Ferkel können über FlexScreen die Sauen und Saugferkel erfasst werden. Hierzu bekommt jede Sau einen eigenen QR-Code, welcher an der Sauenkarte befestigt wird, sodass eine Einzeltierkennung und Rückverfolgbarkeit möglich ist. Dies verbessert die Datenerfassung in der Saugferkelphase, welche aber bisher nicht meldepflichtig ist. Zusätzlich zu der Erfassung von Tierbewegungen, Verlusten und Verkäufen kann über das FlexScreen-Tool sowohl die tägliche Bestandskontrolle als auch eine umfassendere Tiergesundheitskontrolle durchgeführt und dokumentiert werden. Hierzu wurden die Formulare „Bestandskontrolle“, „Kontrolle der Durchflussmenge“ und „Tiergesundheitskontrolle“ konfiguriert. Die Dokumentation der täglichen Bestandskontrolle bietet über das Formular die Möglichkeit, Auffälligkeiten, wie Husten oder Lahmheit, zu dokumentieren. Ebenso können Schwanz- oder Ohrenbeißen über das Formular inkl. Bild zur Dokumentation der Verletzung eingegeben werden. Die aktuelle Diskussion zum Kupierverzicht berücksichtigend, kann beim Erfassen der Durchgänge bereits hinterlegt werden, ob die Tiere kupiert sind oder nicht. Zudem können ebenfalls Impfungen sowie Antibiotikabehandlungen auf der gleichen Plattform erfasst und die Wiederholungen dokumentiert werden.

3 Ergebnisse

In Abbildung 1 ist die kontinuierliche Dokumentation der Schwanzverletzungen für den Kupierverzicht an einem Beispiel dargestellt. Über das Formular „Bestandskontrolle“ können in dem FlexScreen Tool Beobachtungen/Auffälligkeiten, die bei dem täglichen Kontrollgang festgestellt werden, direkt dokumentiert werden. Neben der Angabe, was Beobachtet wurde (Auswahlliste), erfolgt über das Scannen der QR-Codes eine Zuordnung zu der Bucht/Abteil und dem Durchgang. Werden Schwanzverletzungen dokumentiert, kann zusätzlich die Anzahl an verletzten Tieren angegeben werden.

Die im Rahmen einer Projektarbeit erhobenen Tiergesundheitsdaten ließen sich zum einen schnell und unkompliziert in der App eingeben und können zur Auswertung einfach als Excel-Export heruntergeladen werden. Betrachtet man beispielsweise die prozentuale Verteilung der bonitierten Schwanzverletzungen (Abb. 2), zeigt sich zu Beginn bei allen drei Gruppen ein etwas höherer Anteil an Tieren mit leichten Verletzungen, was sich dann aber in der Mitte des Versuches bei unter 5 % in den Kategorien 1 und 2 einpendelt und erst gegen Ende vor allem in Versuchsgruppe 1 wieder deutlich ansteigt. Dies entspricht auch dem Eindruck bei den begleitend durchgeführten Wiegen, da

nur bei der letzten Wiegung am Ende des Versuches in einigen Buchten Schwanzbeißen beobachtet werden konnte.

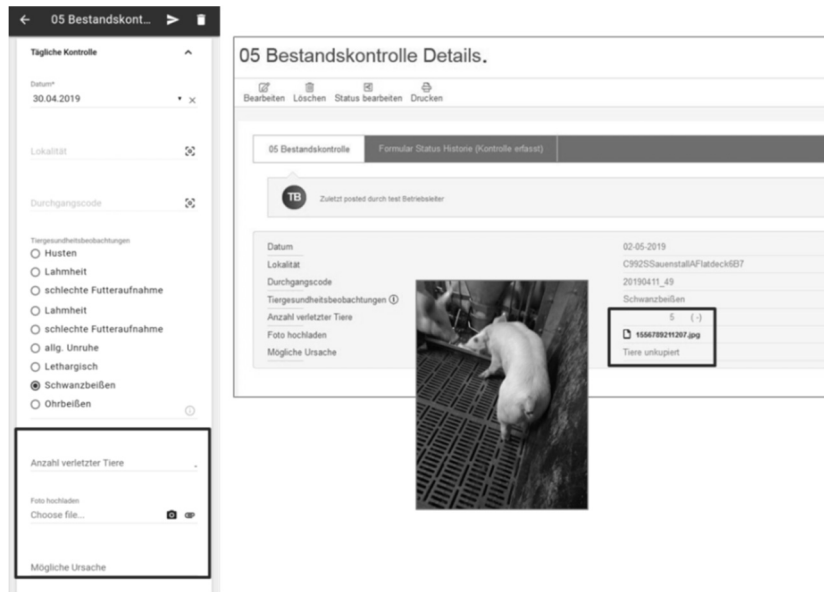


Abb. 1: Kontinuierliche Erfassung von Schwanzverletzungen über das FlexScreen-Tool und die Ansicht über die Webplattform. Eingegabene Daten können durch ein Bild ergänzt werden.

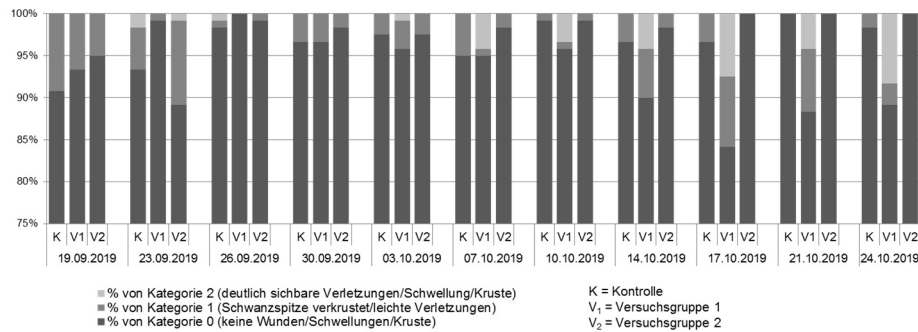


Abb. 2: Prozentuale Verteilung der bonitierten Schwanzverletzungen

4 Fazit und Ausblick

Das FlexScreen-Tool scheint das Potenzial zu haben, die Datenvernetzung entlang der Wertschöpfungskette zu verbessern. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass es möglich

ist, die Datenerfassung in den Betrieben zu optimieren und auch systemübergreifend bzw. -unabhängig zu arbeiten. Die Zuordnung der erfassten Daten mittels QR-Code bietet neben den Auswertungen der biologischen Leistungen die Möglichkeit, Dokumentationen auf Durchgänge und bei Sauen auf Einzeltiere zurückzuverfolgen und somit die staatlichen Dokumentationspflichten einfacher zu erfüllen. Allerdings befindet sich die Erweiterung der Pilotgruppe noch im Aufbau, sodass noch keine validierten Aussagen vorliegen. Das aktuelle Beispiel des Kupierverzichts zeigt unter anderem, dass FlexScreen das Potenzial hat, schnell auf neue Anforderungen zu reagieren, diese zeitnah mit abzudecken und in das bisherige Erfassungs- und Auswertetool zu integrieren. Zudem zeigt die Auswertung der Versuchsdaten, dass es möglich ist, schnell und einfach Tiergesundheitsdaten im Bestand zu erheben und auch mit einer einfachen Erfassung einen guten Überblick über den Gesundheitszustand des Bestandes zu bekommen. Arenhövel [Ar16] bestätigt in ihrer Arbeit das Potenzial und den Bedarf nach so einem System. Auch die Metaanalyse von Schukat und Heise mit dem Thema Indikatoren für die Früherkennung von Schwanzbeißen [SH22] mit dem Ergebnis, dass dem Schwanzbeißen zumeist eine erhöhte Aktivität mit vermehrten Kauen und mit nicht gekringelten Schwänzen bzw. herabhängenden Schwänzen vorangeht, zeigt die Notwendigkeit einer besseren Tierbeobachtung inklusive der Erfassung und Aufbereitung der Daten.

Literaturverzeichnis

- [Ar16] Arenhövel, S.: Entwicklung der Grundlagen für ein IT-gestütztes Instrument zur standardisierten Datenerfassung für die tierärztliche Bestandsbetreuung von Schweinebeständen. Dissertation 2016, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- [BL19] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BVL), <https://www.praxis-agrar.de/tier/schweine/nationaler-aktionsplan-kupierverzicht/>, Stand: 29.04.2019.
- [BV19] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), https://www.bvl.bund.de/DE/05_Tierarzneimittel/05_Fachmeldungen/2014/2014_02_06_Fa_Arzneimittelgesetz.html?nn=1471850, Stand: 29.04.2019.
- [BVV94] Blocks, G.H., Vernooy, J.C., Verheijden, J.H.: Integrated quality control project: relationships between pathological findings detected at the slaughterhouse and information gathered in a veterinary health scheme at pig farms. *Vet. Q.*, 16(2), S. 123-127, 1994.
- [Fe09] Feucker, W.: Computergestützte tierärztliche Bestandsbetreuung – Möglichkeit der Nutzung vorhandener Daten zur Optimierung der Bestandsgesundheit. *Vet. Spiegel*, 19(3), S. 156-159. 2009.
- [Pa04] Pawelzik, Bernd: Das Wirtschaften aus dem Bauch ist vorbei, *Eilbote*, 47/2004, S. 12-15.
- [SH22] Schukat, S.; Heise, H.: Indikatoren für die Früherkennung von Schwanzbeißen bei Schweinen – eine Metaanalyse. *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*, Band 97, Ausgabe 3.

Entwicklung einer Robotik-Lösung zur Schneckenbekämpfung im Ackerbau

Schneckenroboter

Jobst Gödeke¹, Jens Karl Wegener¹, Dieter von Hörsten¹ und Christian Höing²

Abstract: Schnecken verursachen erhebliche Ertrags- und Qualitätsverluste im Ackerbau. Eine Einengung der Fruchtfolgen mit einer deutlichen Dominanz von Winterungen hat zur Verbesserung der Lebensbedingungen von Ackerschnecken beigetragen. Die nahezu ganzjährige Bedeckung des Bodens bietet einerseits Schutz vor Erosion, andererseits aber auch Nahrungsgrundlage und Schutz für Schnecken. Als Konsequenz der Massenvermehrung von Schnecken wird die Applikation von Schneckenkorn oftmals als präventive „Routine-Maßnahme“, beispielsweise nach der Aussaat von Wintertraps, durchgeführt. Diese Interventionsmaßnahme entspricht jedoch nicht dem Ziel einer teilflächenspezifischen Schneckenkornapplikation. Ziel des Projektes ist es, eine Robotik-Lösung zu entwickeln, die Schnecken über Sensoren erkennt und bekämpft. Zur gezielten und energieeffizienten Bekämpfung der Schnecken wird am Julius-Kühn-Institut die Wirksamkeit mechanischer Bekämpfungswerkzeuge, für einen Schneckenroboter, überprüft. Weiterhin wird eine Hotspotkarte entwickelt, die Gefährdungsbereiche darstellt, damit der Roboter diese Bereiche gezielt ansteuern und die Schnecken dort bekämpfen kann.

Keywords: Schneckenroboter, Schnecken, Schneckenbekämpfung, Robotik, Digitalisierung

1 Einleitung

Schnecken sind Schlüsselschädlinge in der Landwirtschaft [G193] und im Gartenbau [So92]. Nahezu jede Kulturart kann von Schnecken befallen werden, was zu empfindlichen Ertrags- und Qualitätsverlusten führen kann. Die sichtbarsten und stärksten Verluste entstehen durch Fraß, weswegen ihre Schäden an Keim- und Jungpflanzen als besonders gravierend gelten. Die wirtschaftliche Bedeutung der Ackerschnecken steigt seit Jahren. In England ist beispielsweise der Bedarf an Schneckenkorn innerhalb von 20 Jahren um das 70-fache gestiegen. In den übrigen Rapsanbaugebieten Europas wird ebenfalls die Applikation von Schneckenködern als „Routine-Maßnahme“ durchgeführt.

¹Julius Kühn-Institut; Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, jobst.goedeke@julius-kuehn.de; jens-karl.wegener@julius-kuehn.de; dieter.von-hoersten@julius-kuehn.de

²Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen, christian.hoeing@agrar-uni.kassel.de

Aus Umweltschutzgründen und wegen der stetig wachsenden Kritik am Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel fordert der Gesetzgeber, deren Einsatz auf ein Mindestmaß zu beschränken [EHG10].



Abb. 1: Schneckenfraß an Winterrapspflanze

Die Einführung der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung in der Landwirtschaft ermöglicht eine Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse [Au01]. Auf dieser Basis scheint die Entwicklung von kleinen, autonom agierenden Maschinen eine Alternative zu klassischen ackerbaulichen Verfahren darzustellen. Ein kleiner, autonomer Roboter, der eine Schneckenbekämpfungsmaßnahme durchführt, bietet die Möglichkeit, diese umweltschonender und effizienter zu gestalten.

2 Lösungsansatz

Das Voranschreiten der Digitalisierung in der Landwirtschaft und ein sich sehr dynamisch entwickelnder Markt für mobile Robotik-Lösungen bieten gute Rahmenbedingungen für die Entwicklung von kleinen, autonom agierenden Maschinen [Au01].

Es hat sich herausgestellt, dass es einen Vorzüglichkeitsbereich zur Schneckenbekämpfung gibt, der sich unmittelbar nach der Ernte befindet und einen signifikanten Einfluss auf die nachfolgende Schneckenpopulation hat. In diesem Zeitfenster kann ein Roboter autonom über eine Ackerfläche navigieren, um Schnecken zu bekämpfen, ohne die angebaute Kultur bedeutend zu schädigen

2.1 Roboterplattform

Die Plattform für die Robotik-Lösung (Abb. 2) wird vom Projektpartner, der KommTek GmbH, entwickelt, die über große Expertise im kommunalen Einsatz von ferngelenkten Kettenfahrzeugen verfügt. Kettentriebe eignen sich gut für den Einsatz auf unwegsamem Gelände und zeichnen sich durch gute Spurtreue aus. Da der Roboter autonom fahren und gezielt bestimmte Punkte auf dem Acker ansteuern soll, ist es wichtig, dass das Fahrwerk wenig Abweichung vom eingeschlagenen Kurs des Roboters verursacht. Das Energiekonzept basiert auf Elektromotoren, da diese leicht, zuverlässig, kostengünstig und gut steuer- und regelbar sind.

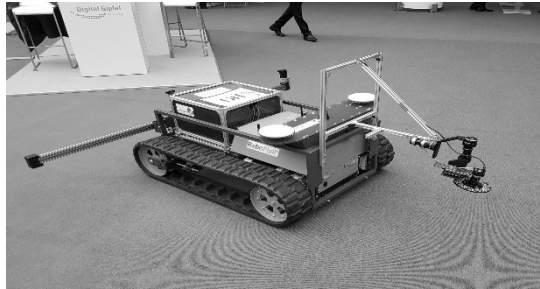


Abb. 2: Roboterplattform mit optischem Sensor und Bekämpfungswerkzeug

2.2 Schneckenerkennung

Der Fachbereich Agrartechnik aus Witzenhausen beschäftigt sich mit der optischen Schneckenerkennung. Zur Schneckenerkennung wird an der Roboterplattform eine Kamera montiert, die den Boden nach Schnecken abscannt. Durch digitale Bildverarbeitung können die Schnecken detektiert und ihre Position relativ zum Roboter ermittelt werden. Die Verwendung verschiedener Filter ermöglicht es, dass Schnecken wesentlich heller abgebildet werden als ihre Umgebung. Mit Hilfe anschließender Bildverarbeitung können auch halb verdeckte oder zusammengezogene Schnecken, sowie Schnecken verschiedener Größen, Formen und Arten detektiert werden.

2.3 Schneckenbekämpfung

Schnecken bestehen zu einem Großteil aus Wasser. Zur Schneckenbekämpfung sind daher unterschiedlichste Mechanismen denkbar. Im Rahmen von Laborversuchen wurden energieeffiziente und kostengünstige Werkzeuge auf ihre Eignung geprüft. Der Antrieb der angestrebten Robotik-Lösung erfolgt elektrisch, deshalb wird bei der Entwicklung eines Werkzeuges darauf geachtet, dass es möglichst leicht, aber dennoch robust und einfach gehalten ist, um den Energieverbrauch gering zu halten. Der Fokus der Entwicklung richtet sich aufgrund dessen auf mechanische Verfahren – Quetschen, Zerstoßen und Schneiden – zur Schneckenbekämpfung.

3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

3.1 Bekämpfungswerkzeuge

Im Rahmen von Laborversuchen wurden verschiedene Werkzeuge auf ihre Eignung zur Schneckenbekämpfung überprüft. Um die Werkzeuge zu testen, wurde eine Versuchsanordnung entwickelt, die aus einem 200 cm hohen Aufbau besteht, auf welchem sich ein in

Schienen geführter Schlitten befindet, der als Träger für ein darauf montiertes Werkzeug dient. Das befestigte Werkzeug kann aus einer beliebigen Höhe ausgelöst werden und fällt, im freien Fall, auf einen mit Boden gefüllten Behälter herab, auf dem sich eine Schnecke befindet. In bestimmten Zeitintervallen wird geprüft, ob die Schnecke erfolgreich bekämpft wurde.

Aus den durchgeführten Versuchen geht hervor, dass die eingesetzten Bekämpfungswerkzeuge einen sehr unterschiedlichen Bekämpfungserfolg haben. Bei niedrigen Auslösehöhen, z. B. 5 cm und 15 cm, wird deutlich, dass ein Pressstempel keine Wirkung zeigt, Werkzeuge mit stechenden und schneidenden Wirkprinzipien zeigen hingegen gute Bekämpfungserfolge. Gründe dafür könnten in der geringen Masse des Pressstempels und der zu niedrigen Geschwindigkeit liegen, mit der das Werkzeug auf den Boden trifft. Bei hohen Auslösehöhen ist die Mortalität durch den Pressstempel größer. Die Vorteile des Pressstempels liegen in der geringen Anfälligkeit gegenüber Verschmutzung und Verschleiß.

Messerklingen und Stecher, die das Prinzip des Zerschneidens und Zerstechens abbilden, erzielen, bei geringen Auslösehöhen (5 cm), 100 %ige Bekämpfungserfolge. Nachteile bei diesen Verfahren sind allerdings die hohe Anfälligkeit gegenüber Verschmutzung und die Abnutzung bzw. das Abstumpfen der Messerklingen.

Anhand der Versuche wurde deutlich, dass eine Beschädigung des Mantels der Schnecke eine Austrocknung zur Folge hatte und somit die Schnecke erfolgreich abgetötet wurde. Bei der Optimierung des Bekämpfungswerkzeugs wurde darauf geachtet, dass ein Werkzeug entwickelt wird, welches unanfällig gegenüber Verschmutzung und Abstumpfung ist und über eine ausreichende Arbeitsfläche verfügt.

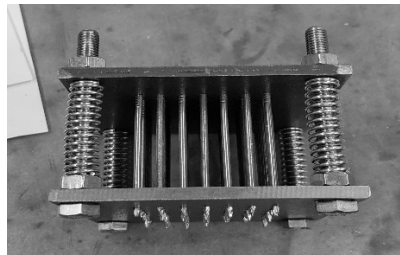


Abb. 3: Optimiertes Werkzeug zur mechanischen Schneckenbekämpfung

Abbildung 3 zeigt das optimierte Bekämpfungswerkzeug, welches aus einer Platte mit fest verbauten Nägeln besteht, die durch einen Abstreifer geführt werden, um Verschmutzung zu beseitigen. Die Nägel sollen den Mantel der Schnecke perforieren oder anritzen, sodass dadurch ein Austrocknen der Schnecke hervorgerufen wird. Das Werkzeug hat eine Arbeitsfläche von 100 cm² und wird an den Auslegearm des Roboters montiert.

3.2 Routenoptimierung

Die Navigation des Roboters kann über verschiedene Verfahren erfolgen (Abb. 4). Sind keine Informationen über die Einsatzfläche bekannt, fährt der Roboter zufällig, in chaotischen Bahnen, über das Feld (Zufallsmodus). Dieses Verfahren ist allerdings nicht schlagkräftig, da der Roboter auch Bereiche anfährt, die nicht durch Schnecken gefährdet sind. Bei einer Geschwindigkeit von 1 km/h, einer Arbeitsbreite von 1,5 m und einer Einsatzzeit von 8 h beträgt die Flächenleistung 1,2 ha pro Einsatz.

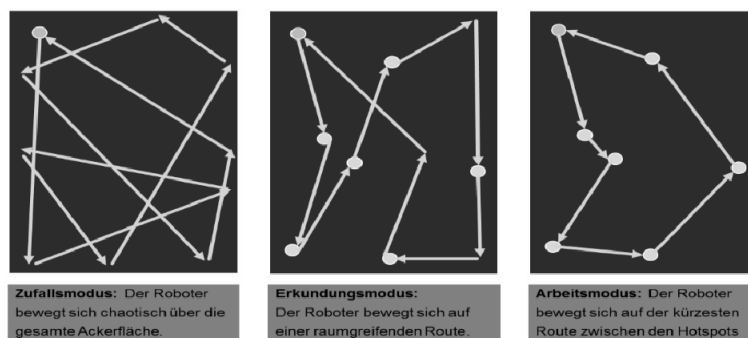


Abb. 4: Navigationsmöglichkeiten des Schneckenroboters im Feldeinsatz

Um die Schlagkraft des Roboters zu erhöhen, ist es notwendig die Bereiche, die durch Schnecken gefährdet sind, möglichst genau zu prognostizieren (Erkundungsmodus). Dies kann durch die Zuhilfenahme von Boden- und Ertragskarten oder durch Erfahrungswerte des Anwenders erfolgen. Das Schneckenauftreten hängt allerdings vom Zusammenwirken mehrerer Faktoren ab. Neben Standortfaktoren, wie Bodenart und Bodenzustand, topografischen Eigenschaften, wie Senken, Kuppen oder Randbereichen, gehören auch Witterung und Schneckenaktivität dazu. Zur Einordnung des Gefährdungspotenzials einer Fläche wird diese über Rasterquadrate (10 m x 10 m) in Teilflächen untergliedert (Abb. 5).

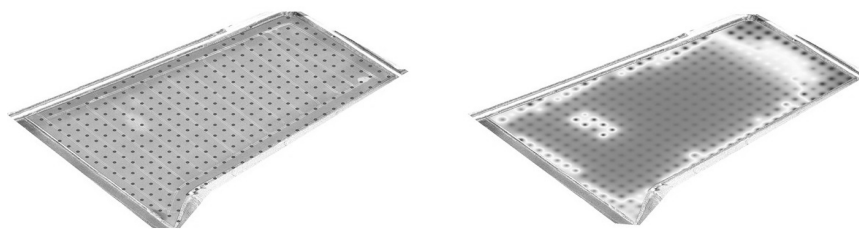


Abb. 5: Ackerfläche in Raster untergliedert (links); Hotspotkarte (rechts) mit Gefährdungsbereichen (rot)

Für jedes Rasterquadrat wird anhand befallsbestimmender Faktoren eine Bonitur vorgenommen und ein Index erstellt. Anhand des Index lässt sich ein Gefährdungspotenzial

und die daraus resultierende Bekämpfungswürdigkeit einer Teilfläche ermitteln. Der Roboter fährt diese Gefahrenbereiche gezielt an und steigert dadurch seine Schlagkraft (Arbeits- bzw. Hotspotmodus). Nach jeder Bekämpfungsmaßnahme werden die Hotspotkarten an das aktuelle Schneckenauftreten angepasst.

4 Schlussfolgerungen

Eine Alternative zu konventionellen Schneckenbekämpfungsverfahren liegt in einer Robotik-Lösung. Autonom agierende Roboter können Schnecken gezielt aufspüren und aktiv, mit Hilfe mechanischer Verfahren, unschädlich machen. Eine mechanische Schneckenbekämpfung hat die Vorteile, dass durch Verzicht auf Schneckenkorn zum einen die Umwelt geschont und Ressourcen eingespart werden.

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, Schnecken zu bekämpfen, doch nicht alle Verfahren sind für einen Robotik-Einsatz geeignet oder versprechen eine erfolgreiche Bekämpfung. Die mechanische Bekämpfung mit stechenden und schneidenden Verfahren hat sich in den durchgeführten Versuchen als geeignet erwiesen, zeigte sich aber auch anfällig gegenüber Verschmutzungen. Anhand dieser Erkenntnisse wurde ein Werkzeug entwickelt, welches auch unter erschwerten Bodenbedingungen robust gegenüber Verschmutzung ist.

Zur Routenoptimierung wurde ein Hotspotverfahren für das Schneckenauftreten entwickelt, das allerdings noch im Praxiseinsatz verifiziert werden muss.

Literaturverzeichnis

- [Au01] Auernhammer, H. (2001): Precision farming – the environmental challenge. In: Computers and Electronics in Agriculture 30, 2001 (1-3), S. 31–43.
- [EHG10] El Titi, A.; Henze, M.; Glattkowski, H. (2010): Kompendium der Ackerschnecken. Plage ohne Ende?!? DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- [GI93] Glen, D. M.; Spaul, A. M.; Mowat, D. J.; Green, D. B.; Jackson, A. W. (1993): Crop monitoring to assess the risk of slug damage to winter wheat in the United Kingdom. In: Annals of Applied Biology, 1993 (122), S. 161-172.
- [So92] South, A. (1992): Terrestrial Slugs. Biology, ecology and control. Dordrecht: Springer Netherlands. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=356565>

Stand der Digitalisierung in der Schweizer Wiederkäuerhaltung

Tanja Groher¹, Katja Heitkämper¹, Ruedi Stark¹ und Christina Umstätter¹

Abstract: Digitalisierung im Kontext landwirtschaftlicher Prozesse umfasst den Einsatz einer Vielzahl von neuen Technologien wie elektronische Geräte, Sensorik, Roboter und Informations- und Kommunikationstechnologien. Digitalisierung birgt das Potenzial, auch kleine Betriebe, wie sie in der Schweiz typisch sind, nachhaltiger, effizienter und gleichzeitig umweltschonender zu bewirtschaften. Die Voraussetzung dafür ist, dass Landwirte die verfügbaren digitalen Technologien in der Praxis auch anwenden. Eine repräsentative Umfrage unter Schweizer Landwirten hat gezeigt, dass bei tierhaltenden Betrieben mit Wiederkäuern vermehrt digitale Technologien eingesetzt werden, die mit dem Melkprozess zusammenhängen. Die Erfassung verhaltensspezifischer Parameter sowie die elektronische Datenverarbeitung sind zurzeit noch wenig verbreitet.

Keywords: Digitale Technologien, Sensoren, Nutztierhaltung, Wiederkäuer, Smart Farming

1 Einleitung

Digitalisierung im Kontext landwirtschaftlicher Prozesse umfasst den Einsatz einer Vielzahl von neuen Technologien wie elektronische Geräte, Sensorik, Roboter und Informations- und Kommunikationstechnologien. Die Anwendung und Verknüpfung digitaler Technologien in der landwirtschaftlichen Produktion kann den landwirtschaftlichen Arbeitsalltag verändern, beispielsweise durch die Reduzierung der physischen Arbeitsbelastung hin zu mehr kognitiver Arbeit, aber auch durch mehr Flexibilität der Arbeitszeiten [Ho17]. Die Adoption digitaler Technologien wie beispielsweise zur Präzisionslandwirtschaft im Pflanzenbau oder zum Echtzeit-Monitoring von Nutztieren variiert länderspezifisch und hängt mit diversen Faktoren zusammen. Dazu zählen u. a. der Betriebszweig und die Tierart, soziodemographische Faktoren wie das Alter des Betriebsleiters oder die Betriebsgröße, aber auch die Art der Technologie [Ba19; Ga18; Pi13].

Die Schweizer Landwirtschaft ist ein Beispiel für kleinräumige, diversifizierte und gleichzeitig hoch mechanisierte Landwirtschaft, die geprägt ist durch ihre politischen Rahmenbedingungen, die u. a. eine nachhaltige Produktion und Gewährleistung des Tierwohls unterstützen sollen. Zwar hat der Strukturwandel auch in der Schweiz zu weniger, aber dafür größeren Betrieben geführt, jedoch sind die Betriebe mit

¹ Agroscope Wettbewerbsfähigkeit und Systembewertung, Forschungsgruppe Automatisierung und Arbeitsgestaltung, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz, anja.groher@agroscope.admin.ch, katja.heitkaemper@agroscope.admin.ch, ruedi.stark@agroscope.admin.ch, christina.umstaetter@agroscope.admin.ch

durchschnittlich 20 ha kleiner als in vielen anderen mitteleuropäischen Ländern [Bu18]. Digitalisierung birgt das Potenzial, auch kleine Betriebe nachhaltiger, effizienter und gleichzeitig umweltschonender zu bewirtschaften – unter der Voraussetzung, dass Landwirte die verfügbaren digitalen Technologien in der Praxis auch anwenden. Für die vorliegende Arbeit wurden zum einen der Einsatz von elektronischen Sensoren und Messeinrichtungen und zum anderen Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung in Betrieben mit Wiederkäuern (Milchvieh, Mutterkühe, Mastrinder, Fleischschafe und Milchziegen) untersucht.

2 Material und Methoden

Die vorliegende Studie ist Teil einer repräsentativen Umfrage zum Stand der Mechanisierung und Digitalisierung der Schweizer Landwirtschaft, die zwischen Januar und März 2018 in der Schweiz durchgeführt wurde. Insgesamt wurden 4954 Fragebögen an Schweizer Landwirte verschickt, was etwa 10 % aller Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz entspricht. Die Rücklaufquote betrug 59 %. Dazu wurden 17 Fragebögen für verschiedene Betriebszweige entwickelt, um die Bandbreite der Schweizer Landwirtschaft abzubilden. Dabei wurden die Landwirte auch bezüglich ihres Elektronikeinsatzes befragt. Folgende Betriebszweige wurden einbezogen: Ackerbau, Futterbau, Gemüsebau, Weinbau, Hochstammobstbau, Tafelobst, Strauchbeeren, Erdbeeren, Milchvieh, Mutterkühe, Mastrinder, Schweinezucht, Schweinemast, Fleischschafe, Milchziegen, Legehennen und Masthähnchen. Jeder Landwirt erhielt nur einen Fragebogen, auch wenn der Betrieb mehrere Betriebszweige umfasste. Es handelte sich bei den gewählten Betriebszweigen nicht zwangsläufig um den Hauptbetriebszweig im Betrieb. Die Anzahl der Fragen pro Fragebogen sowie die dazugehörigen Antwortmöglichkeiten variierten zwischen den verschiedenen Betriebszweigen (beispielsweise waren die Antwortmöglichkeiten zu verschiedenen Melktechnologien nur für Milchkühe und Milchziegen verfügbar).

Für die vorliegende Arbeit wurden der Einsatz von elektronischen Sensoren und Messeinrichtungen sowie Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung auf Betrieben mit Wiederkäuern evaluiert. Als mögliche Antwortoptionen wurden Technologien angeboten, die für die Schweizer Landwirtschaft relevant sind. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, unter „Andere“ weitere Angaben zu machen.

3 Ergebnisse mit Diskussion

Die Adoptionsraten von elektronischen Sensoren und Messeinrichtungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Insgesamt haben über alle Betriebszweige hinweg 61 % der befragten Landwirte angegeben, dass sie keine der angegebenen Technologien nutzen. Lediglich 3 % haben angegeben, dass sie andere als die hier abgefragten Technologien nutzen. Dies zeigt,

dass ein großer Teil der Schweizer Landwirte, die Wiederkäuer halten, ohne den Einsatz von digitalen Technologien auskommt. Auffällig ist, dass die Adoptionsraten für

Welche elektronischen Sensoren und Messeinrichtungen verwenden Sie? (%)

Antwortmöglichkeiten	Prozent (%)
Keine	60,9
Andere	2,9
Milchmengenmessung	32,4
Milchflussmessung	17,1
Transponderhalsband	13,5
Milchtemperaturmessung	13,4
Kraftfutteraufnahme	9,9
Kameramonitoring	7,8
Milchleitfähigkeitsmessung	7,6
Elektron. Wiegesysteme	5,4
Elektronische Ohrmarken	3,9
Aktivitätssensoren	2,6
Wiederkausensoren	1,6
Raufutteraufnahme	1,0
Tierortungssystem	0,7
Aufwuchsmessung (Gras)	0,0

Tab. 1: Adoptionsraten von elektronischen Sensoren und Messeinrichtungen in Schweizer Betrieben mit Wiederkäuerhaltung (n=805)

Technologien aus der Melktechnik vergleichsweise hoch sind. Demgegenüber werden Technologien, die tierindividuelles Verhalten aufzeichnen, wie beispielsweise Aktivitätssensoren, Wiederkausensoren oder Raufutteraufnahme, nur vereinzelt genutzt.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung. Hier war die Kraftfutterzuteilung nach Milchmenge die am häufigsten genutzte Technologie mit knapp 15 %. Doch auch die Datenübernahme ins Herdenmanagement wurde von fast gleichvielen Landwirten eingesetzt (Tabelle 2). Die elektronische Datenverarbeitung zur Krankheitserkennung kommt bisher in der Praxis kaum zum Einsatz. Insgesamt haben 79 % angegeben, dass sie keine Möglichkeiten der Datenverarbeitung nutzen.

Welche Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung nutzen Sie?

Antwortmöglichkeiten	Prozent (%)
Keine	79,1
Andere	1,8
Kraftfutterzuteilung nach Milchmenge	14,5
Datenübernahme in Herdenmanagement	13,7
Brunsterkennung	5,1
Rationsplanung	4,5
Krankheitserkennung	2,0
Weidemanagement	1,0
Körper-Konditions-Beurteilung (BCS) mittels Kamera	0,3

Tab. 2: Adoptionsraten der elektronischen Datenverarbeitung in Schweizer Betrieben mit Wiederkäuerhaltung (n=779)

Die Ergebnisse zeigen, dass digitale Technologien, die beim Melken eingesetzt werden, weiterverbreitet sind als Technologien in anderen Produktionsschritten. Darüber hinaus wird deutlich, dass der Digitalisierungsgrad zwischen verschiedenen Betriebszweigen stark variiert. Dieser Trend konnte auch auf Schweizer Pflanzenbaubetrieben beobachtet werden, wo derzeit deutlich mehr Technologien im Gemüsebau Verwendung finden im Vergleich zu den übrigen Betriebszweigen [Gr19]. Mögliche Faktoren für diese Entwicklung in der Wiederkäuerhaltung können die unterschiedliche Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Betriebszweige sein, unterschiedliche Bewirtschaftungs- und Haltungsformen, aber auch der erwartete Nutzen des Einsatzes von digitalen Technologien.

Während beispielsweise die Erleichterung durch Technologieeinsatz beim Melken oder die Zeitersparnis durch automatische Fütterung schnell ersichtlich wird und Menge und Qualität essentielle Parameter der Milchproduktion sind, erfordert der Einsatz von Wiederkausensoren oder Aktivitätssensoren mehr Schulung, bis sich Vorteile der Nutzung ergeben. Auf Pflanzenbaubetrieben wurden außerdem Technologien, die die physische Arbeitsbelastung reduzieren, häufiger genutzt als Technologien, die zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden können, wie beispielsweise Sensoren an den Maschinen, die eine Echtzeitanpassung des Feld- oder Pflanzenmanagements ermöglichen [Gr19]. Auch wenn die Ergebnisse aus der Wiederkäuerhaltung diese Aussage nicht zulassen, wird ersichtlich, dass einfach anwendbare, benutzerfreundliche Technologien, die zum Beispiel im Melkstand integriert sind, häufiger in der Praxis zu finden sind als Technologien, die zusätzlich am Tier oder im Stall Daten sammeln. In dem Zusammenhang spielt auch die Zuverlässigkeit und Interpretation der Daten eine Rolle, damit praxisrelevante Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können [Wa19]. Zusätzlich sind finanzielle Aspekte sowie persönliche Präferenzen und Betriebseigenschaften wichtige Determinanten im Hinblick auf den Einsatz von digitalen Technologien in der Landwirtschaft [TB12; Pa19].

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Nutzung digitaler Technologien und die Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung in der Schweizer Wiederkäuerhaltung beschränken sich momentan hauptsächlich noch auf digitale Technologien, die mit dem Melkprozess zusammenhängen und sind in den übrigen Anwendungsbereichen noch kaum etabliert. Als nächsten Schritt sollen weitere Betriebszweige in der Tierhaltung ausgewertet werden, um den Stand der Digitalisierung in der Schweizer Landwirtschaft besser abschätzen zu können. Darüber hinaus erfolgt noch eine tiefere Analyse des Einflusses der Betriebseigenschaften, wie beispielsweise die Betriebsgröße, Region oder das Produktionssystem, und deren Einfluss auf die Adoption digitaler Technologien.

Literaturverzeichnis

- [Ba19] Barnes, A. et al.: Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land Use Policy* 80, S. 163-174, 2019.
- [Bu18] Bundesamt für Landwirtschaft: Agrarbericht, www.agrarbericht.ch, Stand 24.10.2019.
- [Ga18] Gargiulo, J. I. et al.: Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. *Journal of Dairy Science* 101 (6), S. 5466-5473, 2018.
- [Gr19] Groher T. et al.: Technology adoption across different enterprises in Swiss plant production. In: *Poster Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture*, S. 86-87, 2019.
- [Ho17] Hostiou, N. et al.: Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review. *Biotechnology Agronomy, Society and Environment* 21 (4), S. 268-275, 2017.
- [Pa19] Pathak, H. S. et al.: A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. *Precision Agriculture*, S. 1-25, 2019.
- [Pi13] Pierpaoli, E. et al.: Drivers of precision agriculture technologies adoption: a literature review. *Procedia Technology* 8, S. 61-69, 2013.
- [TB12] Tey, Y. S.; Brindal, M: Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture* 13 (6), S. 713-730, 2012.
- [Wa08] Wathes, C. M. et al. : Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture* 64 (1), S. 2-10, 2008.

Weitverkehrsfunk-Vernetzung für landwirtschaftliche Anwendungsfälle: LoRaWAN und NB-IoT für Unterflursensoren im Precision Farming

Maximilian Haverkamp¹, Alexander Grunwald¹, Clemens Westerkamp¹ und
Marco Schaarschmidt¹

Abstract: Dieser Beitrag vergleicht die Nutzbarkeit der Funkstandards Narrowband-IoT (NB-IoT) und Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) zur Datenübertragung von Sensoren, die in den Boden eingebracht sind. Zur Messung der Empfangsqualität wurde jeweils ein mit den Funktechnologien ausgestattetes Sensorboard in Tiefen von bis zu 60 cm in eine landwirtschaftliche Fläche eingebracht und wieder mit Erdreich bedeckt. Dabei wurden Signalstärke (RSSI) und Signal-Rausch-Abstand (SNR) ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl NB-IoT als auch LoRaWAN eine ausreichende Bodendurchdringung besitzen und damit eine zuverlässige Kommunikation mit Bodensensoren ermöglichen. Die Auswahl kann abhängig von der Komplexität des Anwendungsszenarios und dem Kostenaufwand erfolgen. Kombiniert mit einer energieeffizienten Elektronik und passender Bodensensorik sind bei vertretbarem Kostenrahmen neue Einsatzgebiete für Precision-Farming erschließbar.

Keywords: LoRa, NB-IoT, IoT, LoRaWAN, Bodensensor, Sensoren, Precision Farming

1 Einleitung

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Nutzbarkeit der Funkstandards Narrowband-IoT (NB-IoT) und Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) zur Datenübertragung von Unterflursensoren verglichen. Dabei wurden die in [GSW19] durchgeführten Messungen zur Bodendurchdringung von LoRaWAN in ähnlicher Weise für NB-IoT wiederholt. Die Einbringung von Sensoren in den Boden ist für Precision-Farming-Ansätze interessant, da bei passender Einbringtiefe die Sensoren auch während der Feldbewirtschaftung im Boden verbleiben können. Dies ermöglicht es, Daten kontinuierlich über mehrere Wachstumsperioden zu erfassen. Zunächst werden einige am Markt befindliche Sensorsysteme sowie die untersuchten Funktechnologien erläutert. Anschließend werden die ermittelten Werte in Bezug auf Feldstärken, Signalausabstände und erzielbare durchschnittliche Datenraten verglichen. Es werden außerdem Hinweise für die Auslegung energieeffizienter Feldsensorknoten gegeben.

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück, maximilian.haverkamp@hs-osnabrueck.de, a.grunwald@hs-osnabrueck.de, c.westerkamp@hs-osnabrueck.de, m.schaarschmidt@hs-osnabrueck.de

2 Stand der Technik

Im Folgenden werden die Funktechnologien sowie aktuelle Sensorsysteme vorgestellt.

2.1 Ground Truth Sensorsysteme

Ground Truth Sensorsysteme werden im Bereich Precision Farming eingesetzt. Sie sind mit verschiedenen Sensoren für Boden- und Zusatzwerte ausgestattet. Das aufwändigste System „Soil Probe“ von Teralytic arbeitet bis zu zwölf Monate mit 26 Sensoren für Bodenwerte, Mikroklima und Luftwerte [Te19]. Es wird z. B. im Mandelanbau in Kalifornien eingesetzt und kostet bei zehn Sensoren jährlich 5.000 \$. Einfachere Sensoren von Sensoterra erfassen Bodenfeuchte und -temperatur und arbeiten bis zu drei Jahre ohne Batteriewechsel [Se19]. Agvolution bietet ein modulares System mit wählbarer Sensorik [Ag19]. Bei den genannten Systemen liegen Systemteile über dem Boden und stellen ein Hindernis bei der Feldbewirtschaftung dar. Die in der vorliegenden Untersuchung genutzten Sensorknoten hingegen werden vollständig im Boden versenkt.

2.2 LPWAN Technologien LoRaWAN und NB-IoT

Die Abkürzung LPWAN steht für „Low Power Wide Area Network“. Diese Funktechnologien werden primär für IoT-Anwendungen verwendet. Sie bieten den Vorteil, dass sie auch bei geringem Stromverbrauch eine hohe Reichweite ermöglichen. Dadurch können Geräte auch über einen längeren Zeitraum ohne externe Stromversorgung betrieben werden. Die Reichweite ist auch bei geringem Energiebedarf groß und bietet so auch in ländlichen Gebieten eine zuverlässige Abdeckung.

Bei LoRaWAN handelt es sich um einen von der LoRa-Alliance veröffentlichten LPWAN Standard [Lo17]. In Mitteleuropa wird dieser als Community-basierende Variante „The Things Network“ (TTN) [TTN19] und in verschiedenen kommerziellen Varianten z. B. für Infrastrukturnetze von Energieversorgern eingesetzt [SWO19]. In beiden Fällen wird das lizenzfreie 868MHz-ISM-Frequenzband genutzt. Sendeleistung und zeitliche Auslastung sind auf 25 mW Sendeleistung und 36 Sekunden pro Stunde Sendezeit begrenzt. Beide LoRaWAN-Varianten können bei verringerter Feldstärke (höherer Entfernung) die Modulation durch Anwendung eines Spreizfaktors SF anpassen. Dabei schwanken die Datenraten zwischen 11 kBit/s und 0,25 kBit/s. Interessanter als die aktuelle Datenrate ist die pro Stunde übertragbare Datenmenge. Sie liegt beim kommerziellen LoRaWAN bei gutem Signal (Spreizfaktor SF7) bei 24 kByte/h. Bei einem Spreizfaktor SF10 sind hingegen nur noch 4,4 kByte/h möglich. Für das Community-basierende TTN gilt aufgrund der begrenzten zeitlichen Auslastung des Funkkanals, welche auch für die Gateways gilt die „Fair Access Policy“, bei der pro Sensor der Funkkanal maximal 30 Sekunden pro Tag belegt werden darf [Ar16]. Damit sind 0,15kByte/h bei SF10 und 1,7 kByte/h bei SF7 möglich. Selbst die bei SF10 erreichte

Datenrate reicht bei einem Overhead von 60 % ohne Kompression, um die Daten von acht 16 Bit-Kanälen im 15 Minuten-Takt zu übertragen. LoRaWAN verschlüsselt Daten Ende zu Ende. In städtischen Gebieten beträgt die Reichweite ca. 5 km, in ländlichen bis zu 20 km [Lo17].

NB-IoT ist ein LPWAN-Standard in vorhandenen Mobilfunknetzen und erlaubt verschlüsselte IoT-Kommunikation mit Sendeleistungen bis 200 mW und Datenraten bis 159 kBit/s. Im ländlichen Raum beträgt die Reichweite bis zu 10 km. Durch den Betrieb in lizenzierten LTE-Bändern ist es besser vor Interferenz geschützt als andere in unlizenzierten betriebene Technologien. Zudem existieren keine regulatorischen Beschränkungen bezüglich der Sendezeit. So können bis zu 71,5 Mbyte/h übertragen werden [3G16].

3 Verwendete Hardware

Das für LoRaWAN verwendete Hardware-System mit einem ESP32 ist in [GSW19] näher beschrieben. Für die NB-IoT-Messung wurde ein Entwicklungsboard mit einer Ultra-Low-Power-CPU STM32LO81CZ eingesetzt [ST19]. Diese zeichnet sich durch geringe Stromaufnahmen in verschiedenen Sleep-Modi aus. Ein Beispielsensor mit niedriger Datenrate ist über I²C angeschlossen. Für die Verbindung zum NB-IoT-Netz wird das Simcom SIM7000E Modem mit aufklebbarer Antenne eingesetzt [SI18]. Die Stromaufnahme liegt bei ausgeschaltetem Modem unter 1^omA, mit eingebuchtem Modem bei 66^omA und während des Sendens bei 200^omA.

NB-IoT-Sensorknoten für den Agrareinsatz sind noch wenig verbreitet. Ein NB-IoT-Temperatur- / Luftfeuchtesensor ist für ca. 85 Euro erhältlich und benötigt eine SIM-Karte mit 10 Jahren Laufzeit und 500MByte Datenvolumen für ca. 10 Euro. Je nach Anbieter ist so eine Netzabdeckung von über 90 % (Fläche) in Deutschland vorhanden. Bei LoRaWAN liegt der Kostenaufwand für ein Outdoor-Gateway und die Installation bei ca. 800 Euro. Ein vergleichbares System auf Basis von LoRaWAN ist für 75 Euro erhältlich.

4 Messung der Bodendurchdringung

Der Messaufbau wurde aus [GSW19] übernommen. Hierbei wurde die Elektronik in Tiefen von 10 cm bis hin zu 60 cm vergraben. Die Löcher wurden vor jeder Messung erneut mit Erdreich bedeckt und verfestigt. Für die unterschiedlichen Bodentiefen wurden im LTE-Band 8 (DL: 925-960 MHz, UL: 880-915 MHz) die Empfangssignalstärke (RSSI) und der Signalrauschabstand (SINR) ermittelt [Ni19]. Dabei war die Basisstation ca. 5,5 km entfernt.

5 Gegenüberstellung der Messwerte von LoRaWAN und NB-IoT

In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die Ergebnisse aus einer vorangegangenen Messung [GSW19] für den Einsatz von LoRaWAN für Unterflursensoren im Vergleich zu denen von NB-IoT dargestellt.

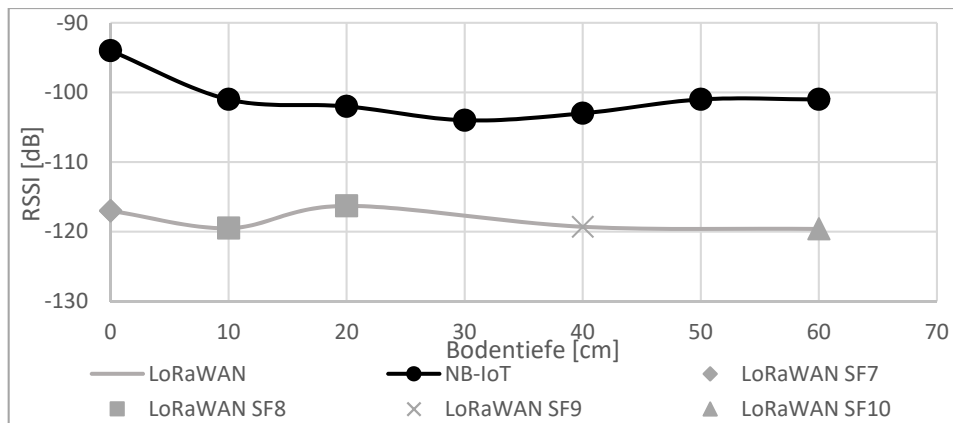


Abb. 1: Verlauf der Empfangsleistung (RSSI) von LoRaWAN und NB-IoT

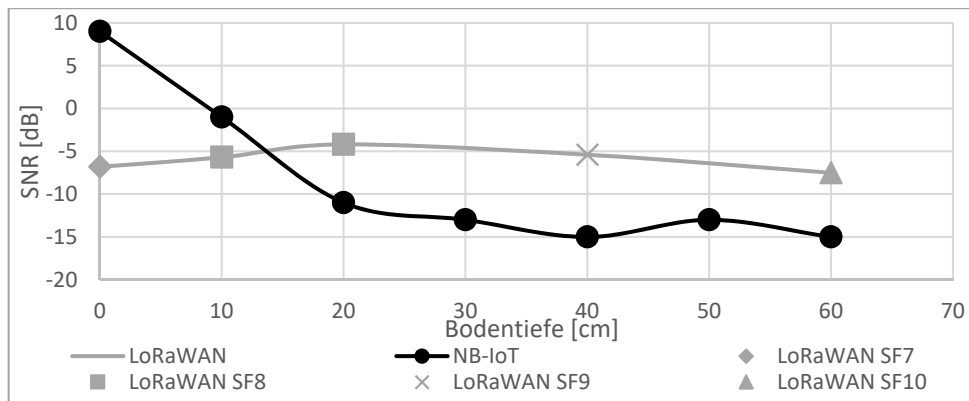


Abb. 2: Verlauf des Signalrauschverhältnis von LoRaWAN und NB-IoT

Da die Messungen an unterschiedlichen Standorten mit verschiedenen Bodenarten und unter anderen Wetterbedingungen durchgeführt wurden, ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Dennoch können die Daten auf Gemeinsamkeiten untersucht werden. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** fällt auf, dass die Signalstärke (RSSI) bei beiden Technologien zunächst abnimmt, um dann kurzfristig wieder zuzunehmen. Allerdings treten diese Zunahmen in unterschiedlichen Tiefen auf. Bei beiden ist ein klarer Verlust beim Übergang von Luft zum Erdreich erkennbar.

Das Signalrauschverhältnis lässt sich nur bedingt vergleichen, da unterschiedliche Messverfahren zugrunde liegen. LoRaWAN reagiert bei größeren Entfernungen durch den Spreizfaktor (SF) robust auf Verschlechterung des Signalrauschverhältnisses (SNR).

6 Energiebetrachtungen für zukünftige Feldsensorknoten

Die vorgestellte Hardware basiert auf Entwickler-Boards und ist nicht auf Energieeffizienzanforderungen optimiert. Bei der Auslegung und Gestaltung eines praxisnahen Systems ergeben sich höhere Anforderungen an einen niedrigen Energieverbrauch, um autonom über mehrere Jahre arbeiten zu können. Hauptverbraucher sind die Funkschnittstellen und die verwendeten Funkstandards. LoRaWAN und NB-IoT sind für IoT-Anwendungen optimiert und haben aufgrund ihrer Protokolle unterschiedlichen hohen Energiebedarf. LoRaWAN nutzt asynchrone Kommunikation und ein Sensorknoten kann unbestimmte Zeit im Ruhemodus verbleiben, was positiv für den Energiebedarf sein kann. NB-IoT hingegen erfordert eine regelmäßige Synchronisation. Außerdem erfordern die bei NB-IoT verwendeten Modulationsverfahren mehr Energie als die lineare Modulation bei LoRaWAN. Für Agraranwendungen sind Vorteile von NB-IoT, nämlich geringere Latenzen und eine höhere Datenrate, weniger relevant.

Innerhalb der Sensorknoten-Software haben einige Module erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf. Er wird u.a. beeinflusst durch

- die Ansteuerung der Kommunikationsschnittstellen und Sensoren,
- ggf. die Verschlüsselung der Kommunikation,
- die Systemstatusverwaltung und
- die (Vor-)Verarbeitung, Filterung und Auswertung der Daten.

Um den Prozessor möglichst häufig in energieoptimierten Modi betreiben zu können, wird das EVAS-Muster (Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe-Schlafen) vorgeschlagen [Sc18]. Die erforderliche Datenmenge wird durch Filterung und Kompression reduziert. Dies ist bei Messgrößen wie Temperatur und Bodenfeuchte unkritisch und auch eine leicht verzögerte Übertragung kann toleriert werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl NB-IoT als auch LoRaWAN zur Datenübertragung für Unterflursensoren geeignet sind, da sie auch bei 60 cm Tiefe über eine gute Bodendurchdringung verfügen. NB-IoT nutzt ein in weiten Teilen Deutschlands vorhandenes kostenpflichtiges Netz und kann für einfache Sensoranwendungen mit geringer Sensorzahl sinnvoll eingesetzt werden.

Für größere Aufbauten mit umfangreicher verteilter Sensorik lohnt sich eine eigene LoRaWAN-Infrastruktur. Dabei werden ein zentraler Standort (landwirtschaftlicher Betrieb) mit meist ohnehin vorhandenem Internet-Anschluss und ggf. weitere verteilt liegende Betriebsgebäude als Gateway-Standort genutzt.

Die betrachteten Energieeinsparoptionen sollten bei der Entwicklung der Elektronik von Feldsensoren mit langer Einsatzdauer berücksichtigt werden. Zudem muss der Einfluss unterschiedlicher Böden auf die Signalparameter untersucht werden.

Literaturverzeichnis

- [3G16] 3GPP: 3GPP TR 36.802 V13.0.0 (2016-06) (NB-IOT); (Release 13). <https://tinyurl.com/3GPP-Nb-IoT>, 05.11.2019.
- [Ag19] Agvolution: Agvolution. <https://agvolution.com/>, 05.11.2019.
- [Ar16] Arjan van Bentem: The Things Network - Limitations: data rate, packet size, 30 seconds uplink and 10 messages downlink per day Fair Access Policy. <http://tinyurl.com/TTN-limitations>, 06.11.2019.
- [GSW19] Grunwald, A.; Schaarschmidt, M.; Westerkamp, C.: LoRaWAN in a rural context: Use cases and opportunities for agricultural businesses. In (VDE ITG Hrsg.): Mobilkommunikation Technologie und Anwendungen Vorträge der 24. ITG-Fachtagung, 2019.
- [Lo17] LoRa Alliance (LoRa): LoRaWAN 1.1 Specification. <https://tinyurl.com/lora-specs>, 05.11.2019.
- [Ni19] Niviuk: LTE frequency band. http://niviuk.free.fr/lte_band.php, 05.11.2019.
- [Sc18] Schaarschmidt, M. et al.: Energieeffiziente Entwurfsmuster für das Internet der Dinge - Möglichkeiten und Perspektiven für Single- und Multicore: Embedded Software Engineering Kongress. Vortrag und Veröffentlichung im Tagungsband, Sindelfingen, 2018; S. 511–522.
- [Se19] Sensoterra: Sensoterra. <https://sensoterra.com/>, 05.11.2019.
- [SI18] SIMCOM: SIM7000E. <https://simcom.ee/modules/iot/sim7000e/>, 05.11.2019.
- [ST19] STMicroelectronics: STM32L081CZ Access line ultra-low-power 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M0+. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l081cz.pdf>, 05.11.2019.
- [SW19] SWO Netz GmbH (SWO): Informationen zum LoRaWAN-Funknetz in Osnabrück. <https://www.swo-netz.de/netze-technik/telekommunikationsnetz/lorawan.html>, 05.11.2019.
- [Te19] Teralytic: Teralytic - A Soil Health Company. <https://teralytic.com/>, 05.11.2019.
- [TTN19] The Things Network: LoRaWan -The Things Network. <https://www.thethingsnetwork.org/>, 05.11.2019.

Fusion von Bilddaten und IoT-Funksensordaten im pflanzenbaulichen Feldversuchswesen

Andreas Heckmann¹ und Stefan Paulus²

Abstract: Ein Hemmnis beim Einsatz der digitalen Technologien stellt die mangelnde Zuverlässigkeit bzw. die Ungenauigkeit von Entscheidungshilfesystemen, insbesondere zur teilflächenspezifischen Vorhersage von Biomassewachstum, Krankheiten oder Nährstoffstress, dar. Mit dem Feldversuch „Fieldloop“ werden unterschiedliche Sensortechniken im Feldversuchswesen eingesetzt, um eine standpunktgenaue und fortlaufende Messung des Pflanzenwachstums und der mikroklimatischen Umweltfaktoren zu untersuchen. Im vorliegenden Beitrag wird die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten digitaler Werkzeuge im Feldversuchswesen evaluiert. Es zeigt sich, dass die Etablierung von drahtlosen Sensornetzwerken eine wertvolle Ergänzung zur Bildanalyse, zu Geo- und Boniturdaten gerade im Feldversuchswesen darstellt. Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse können Validierungsversuche von Prognosemodellen für Biomasse und Vitalität präziser durchgeführt werden. Eine Quantifizierung und Beschreibung heterogener Einflussgrößen wird ermöglicht. Eine Weiterentwicklung des Ansatzes für Großflächenversuche wird in aufbauenden Projekten vorangetrieben.

Keywords: Remote Services, Machine Learning, Modellierung, Sensorsysteme, Sensor- und Datenfusion, Internet der Dinge und mobile Vernetzung, Lora, IoT, Remote Sensing, Mikroklima

1 Einleitung

Bei der klassischen manuellen Feldbonitur und Beobachtungen können Ergebnis-Effekte durch die subjektive Wahrnehmung des Menschen auftreten. Müdigkeit, Sonnenstand und Wolkenbedeckungen führen dazu, dass menschliche Boniturnoten für gleiche Orte variieren. Neue Technologien im Bereich der Sensorik und der Datenanalyse sind sinnvolle Werkzeuge, um die präzise und objektive Erhebung und die Beschreibung pflanzenbaulicher Exaktversuche zu gewährleisten [Th10]. Oftmals kommen jedoch manuelle Beprobungs sonden oder sogenannten „Handheld“-Geräte zum Einsatz, womit an einzelnen Zeit- und Ortsmarken Datenpunkte aufgenommen werden. Da für ein durchgängiges Monitoring der Beprobungsaufwand enorm ansteigen würde, kann ein permanentes Sensor-Monitoring auf Versuchsflächen oft nicht realisiert werden. Neben einem mangelnden Stichprobenumfang steigt das Risiko des Auftretens von Messfehlern oder der fehlenden Datengrundlage zur Erklärung von Phänomenen. Durch Innovationen im Bereich der Messelektronik und der Funktechnik können Sensormesswerte über weite

¹ Georg-August Universität Göttingen, DNPW Abteilung Agrartechnik, Gutenbergstraße 33, 37075 Göttingen, andreas.heckmann@uni-goettingen.de

² Institut für Zuckerrübenforschung, Abteilung Sensorik, Holtenser Landstraße 77, 37079 Göttingen, paulus@ifz-goettingen.de

Distanzen direkt in lokalen Datenbanken oder Cloudservern gespeichert werden [OMR15]. Vor diesem Hintergrund wurde in einem regulären Parzellenversuch mittels drahtloser Funksensorknoten das Mikroklima gemessen. Anschließend wurden Spektralbild- und Boniturdaten mit den Mikroklimadaten zur Beschreibung des Biomassewachstums pro Parzelle verschmolzen. Durch die Nutzung unterschiedlicher Sensoren soll die Frage beantwortet werden, ob Funksensordaten in Verbindung mit neuartigen Analysemethoden als Ergänzung zur manuellen Bonitur von Biomassewachstum und Vitalität im Feldversuchswesen genutzt werden können.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsbeschreibung

Von April bis Juni 2018 wurde an einem Standort (sandiger Lehm) in Niedersachsen ein Doppel-Parzellenversuch in der Kultur Winterweizen (*Triticum aestivum*, Sorte JB Asano) durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Vollblüte des Weizens wurde Biomasse invasiv am 28.05.2018 geerntet. Zuvor wurden die Erntestellen randomisiert festgelegt und neben der Krankheits- und Stressbonitur die Pflanzenlänge, Triebe pro Pflanze, Anzahl der Ähren bestimmt. Ferner wurde der SPAD (single-photon avalanche diode) mit dem *Yara N-Tester* (Yara International, Hanninghof 35, 48249 Dülmen, Germany) erhoben. Vor und nach der Ernte fand ein Drohnenüberflug (ebee, senseFly SA, Route de Genève 38, 1033 Cheseaux-sur-Lausanne, Switzerland) mit einer RGB-Kamera (Lumix DMC-TZ70, Panasonic, Osaka, Japan.) mit 30-fachen optischen Zoom und 12,1 Megapixel Auflösung statt. In einem zweiten Überflug mit einem Multispektralsensor (SEQUOIA+, Parrot) wurden die Wellenbereiche Grün (530-570 nm), Rot (640-680 nm), Red Edge (730-740 nm) und Nahinfrarot (770-810 nm) mit jeweils 1,2 Megapixel Auflösung und gleichzeitiger RGB-Aufnahme mit 16 Megapixel gemessen. Die anschließende Bildprozessierung und Errechnung des NDVI wurde in Agisoft Metashape (Professional Edition, Version 1.5, Agisoft LLC 11 Degtyarniy per., St. Petersburg, Russia, 191144) durchgeführt. Georeferenzierte Daten wurden in QGIS-OSGeo4W-3.6.3-1 Girona analysiert.

Maschinelle Lernmethoden generieren aus einem Trainingsdatensatz von Bilddaten mit zugehöriger Frischmasse bzw. Grünheitswert der oberen Blatttage ein Modell, um aus neuen Bilddaten (Testdaten) einen passenden Frischmasse- bzw. Grünheitswert vorherzusagen. Je heterogener dabei der Trainingsdatensatz desto besser die Voraussage beim Testdatensatz. Zur Modellgenerierung wurden dabei vier verschiedene Modelle sowie ein Ensemble bestehend aus allen fünf Modellen gemeinsam evaluiert. Mit folgenden Varianten wurden verschiedene Typen aus der Familie der Machine Learning Regressionsmodelle getestet.

SVM: Die Familie der Support Vector Machines nutzt Stützvektoren, um die Distanz zwischen Klassen bzw. zu einer Modellfunktion zu optimieren. Dabei kommen lineare oder auch radiale Basisfunktionen zum Einsatz.

PSL: Partial Least Square Regression, gehört zu den Strukturvergleichsmodellen und nutzt die Varianz innerhalb der Daten, um Werte vorherzusagen.

RF/ xgbTree: gehören zur Familie der Entscheidungsbäume. Beide Implementierungen unterscheiden sich in der Art und Weise, wie der Baum aufgebaut und an die Daten angepasst wird.

Ensemble: Hierbei werden sämtliche Modelle zur Vorhersage genutzt. Ein weiteres Machine Learning Modell entscheidet dabei, wann welches Modell genutzt wird.

Als prototypischer Aufbau zum Monitoring von Temperaturen und Feuchten im Boden und im Pflanzenbestand wurde ein Feldsensor auf Basis der STM32 B-L072Z-LRWAN1 LoRa® Entwicklungsplatine aufgebaut. Auf 80 cm und 25 cm Höhe über dem Boden wurden die Feuchtigkeit und Temperatur der Umgebungsluft gemessen (Bosch BME280, Bosch Sensortec GmbH, Gerhard-Kindler-Straße 9, 72770 Reutlingen). Weiterhin wurde auf 70 cm Höhe in einem Winkel von 45 Grad ein Infrarotsensor zur gezielten Messung der Pflanzentemperatur installiert (MLX90614-BCF Melexis, Ypres, Belgium). Im Boden wurde ein kapazitiver Bodenfeuchtesensor mit integriertem Temperaturfühler (Miceuz i2c-moisture-sensor) eingesetzt. Die Sensordaten wurden als LoRaWAN™- Datenpakete an eine 1,2 Km entfernte Datensenke im Intervall von 10 Minuten versandt. Das lokale Netzwerk besaß eine Stern-Architektur, bei der ein in Verbindung mit einem Raspberry Pi Model 3b (Raspberry Pi Foundation, 37 Hills Road, Cambridge, CB2 1NT) als Gateway konfiguriert wurde. Die Daten wurden lokal gesichert und per MQTT Protokoll an einen Server weitergeleitet. Fehlerhafte Messwerte wurden händisch im Datensatz pro Messzeitpunkt entfernt. Es wurde der Zeitraum vom 17.05.2018 bis 03.06.2018 betrachtet. Als Referenz wurde eine Wetterstation (Pessl iMETOS® 3.3 IMT280, Pessl Instruments GmbH, WERKSWEG 107, 8160 Weiz) in 100 m Entfernung zum Versuch genutzt.

3 Ergebnisse

3.1 Mikroklimamessung über Funksensornetzwerk

Durch die Installation des Sensornetzwerkes konnten die mikroklimatischen Bedingungen im Pflanzenbestand während des Beobachtungszeitraumes aufgezeichnet werden. Die Temperaturmessung der prototypischen Funksensoren erreichten eine vergleichbare Messgenauigkeit wie die der Wetterstation. Es konnte zwischen den beiden Messhöhen (0,15-0,2 m und 0,8-1,0 m) Temperaturdifferenzen von bis zu 3 °C gemessen werden. Im täglichen Mittel lag die Differenz beim Funksensornetzwerk bei 0,46 °C und bei der Wetterstation bei 0,62 °C. Es gilt zu beachten, dass als Referenz nur eine Wetterstation zur Verfügung stand, während 4 Funksensorgeräte im Versuch platziert wurden.

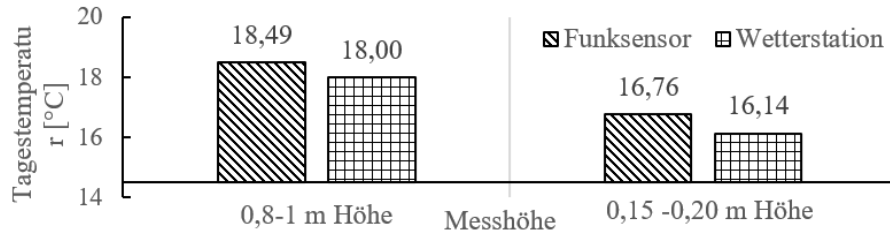


Abb. 1: Mittelwertvergleich der Tagesdurchschnittstemperatur vom 16.05.2018 bis zum 28.05.2018 zwischen Temperatur-Funkensensoren (n = 4) und einer kalibrierten Referenz-Wetterstation im Messbereich 80 cm bis 100 cm (links) und 15 cm bis 20 cm Höhe über dem Boden

3.2 Biomasseprognose

Biomasse	RGB		RGB+MS		RGB+MS +TEMP		RGB+MS +TEMP+SPAD	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
svmLinear	55,64	0,02	44,5324	0,28	59,83	0,02	60,76	0,05
svmRadial	55,5	0,03	36,49	0,48	54,04	0,01	53,33	0,06
rf	57,74	0,11	31,5	0,68	58,41	0,09	47,57	0,15
pls	50,38	0,11	29,87	0,76	52,4	0,01	50,76	0,05
xgbTree	57,65	0,08	23,87	0,81	60,08	0,02	49,4	0,15
Ensemble	53,6	0,22	21,27	0,845	47,53	0,4	53,61827	0,21

Tab. 1: Auflistung der statistischen Kenngrößen Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme (Root Mean Square Error, RMSE) und dem Bestimmtheitsmaß (R-squared, R²) der geschätzten Biomasse für die Beprobungspunkte pro m² und nach Training mit vier kombinierten Datenlayern auf Basis der Drohnensbilder vom 28.05.2018 (RGB = Rot Gelb Blau, MS = Multispektral), der Temperaturmessung der Mikroklimasensoren zum 28.05.2018 (TEMP) und der manuellen Messung der Pflanzengrünheit zum 28.05.2018 mit dem N-tester (SPAD)

Alle verwandten maschinellen Lernverfahren lieferten die beste Vorhersage der Biomasse für die Beprobungspunkte durch Kombination der RGB und Multispektralbilddaten. Das Ensemble und xgbTree zeigten dabei die beste Modelanpassung mit hohem R²-Werten und geringeren RMSE-Fehlerwerten. Die Hinzugabe der Temperaturtagesmittelwerte zeigte keine Verbesserung, sondern führte zu einer Verschlechterung der Vorhersagegenauigkeit der getesteten Verfahren. Die zusätzliche Nutzung der SPAD-Handmessung zur RGB, MS und TEMP wies im Vergleich zur reinen RGB Luftbildmessung keine Vorteile auf.

3.3 Grünheit der oberen Blätter (F, F-1)

Die Schätzung der Grünheit der oberen Blätter konnte durch alle verwandten Methoden mit Ausnahme der svmRadial mit einem geringen RMSE-Fehler gezeigt

werden. Es konnte eine leichte Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit durch Kombination der RGB, MS, TEMP und SPAD Eingangswerte beobachtet werden. In allen geprüften Varianten wiesen das Ensemble und xgbTree die beste Modelanpassung aus.

Grünheit obere Blatttage	RGB		RGB+MS		RGB+MS +TEMP		RGB+MS +TEMP+SPAD	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
svmLinear	18,29	0,43	21,11	0,39	17,14	0,53	15,27	0,66
svmRadial	22,34	0,21	14,75	0,64	25,41	0,05	24,28	0,28
rf	15,18	0,63	15,94	0,59	15,75	0,56	15,19	0,65
pls	18,54	0,43	19,07	0,5	17,28	0,48	16,27	0,61
xgbTree	14,13	0,67	16,2	0,57	13,38	0,68	13,6	0,7
Ensemble	13,95	0,69	15,07	0,63	13,9	0,65	13,75	0,71

Tab. 2: Auflistung der statistischen Kenngrößen Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme (Root Mean Square Error, RMSE) und dem Bestimmtheitsmaß (R-squared, R²) der Grünheit der oberen Blatttage (F. F-1) für die Beprobungspunkte pro m² und nach Training mit vier kombinierten Datenlayern auf Basis der Drohnenbilder vom 28.05.2018 (RGB = Rot Gelb Blau, MS = Multispektral), der Temperaturmessung der Mikroklimasensoren zum 28.05.2018 (TEMP) und der manuellen Messung der Pflanzengrünheit zum 28.05.2018 mit dem N-Tester (SPAD)

4 Diskussion

Die gemessenen Lufttemperaturwerte der Funksensoren im Pflanzenbestand und oberhalb der Bestandeskante lagen im nahezu gleichen Wertebereich im Vergleich zur Referenz-Wetterstation. Durch den prototypischen Aufbau konnte das Mikroklima im Versuch für den Testzeitraum überwacht werden. Für die abschließende Bewertung hinsichtlich Zuverlässigkeit der prototypischen Funksensoren ist eine Testphase über einen längeren Zeitraum mit einer höheren Geräteanzahl notwendig, um beispielsweise unterschiedliche Witterungsverhältnisse zu prüfen. Durch die Nutzung der Funksensoren ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Versuchswesen, um das Pflanzenwachstum, das Auftreten von Stresssituationen oder von Anomalien quantitativ und qualitativ zu beschreiben [CAS17]. Die in diesem Versuch durchgeführten georeferenzierte Bonitur und invasive Biomassernten sollten zunächst in zukünftigen Versuchsanstellungen angewandt werden, um eine valide Referenzgröße sicherzustellen. Die Möglichkeit, eine hohe Anzahl von Sensoren durch Funkmodule automatisiert und permanent in einer Datenbank zu speichern, kann zu einer effizienteren und genaueren Versuchsanstellung beitragen. Ein Nachteil des getesteten Funksensornetzwerkes liegt im hohen Erstaufwand der prototypischen Umsetzung. Hier sind kommerzielle Systeme von Vorteil. Zum Zeitpunkt des Versuches konnten jedoch keine kommerziellen Lösungen in einem vergleichbaren Preisrahmen von unter 150 Euro pro Funksensor gefunden werden. Auf Basis spektraler Daten des Drohnenüberfluges konnte die Biomasse und die Grünheit der oberen Blatttagen pro Beprobungspunkt mit hoher Genauigkeit vorhergesagt werden. Dabei zeigte ein Ensemble aus fünf maschinellen Lernmethoden einen geeigneten Ansatz

mit der höchsten Vorhersagegenauigkeit. Mit der Fusion der Temperaturmessdaten der Funksensoren konnte keine Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von Biomasse erzielt werden, jedoch konnte in der Vorhersage der Grünheit der oberen Blättertagen ein leicht positiver Effekt auf das Vorhersageergebnis gezeigt werden. Eine Verbesserung des Ansatzes kann durch eine Erhöhung der Datenheterogenität herbeigeführt werden. Die Drohnenbilddaten lassen sich weiter auswerten und um Geländemodelle und weitere spektrale Wellenbereiche ergänzen, um die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern [Be15]. Gerade bei Großparzellen- /On-Farm-Versuchen oder bei hoher Heterogenität der Bodenart, des Bodentypes oder der Standorteigenschaften sollten in zukünftigen wissenschaftlichen Arbeiten der Nutzen von Funksensornetzwerken und insbesondere des permanenten Mikroklima-Monitorings untersucht werden, um die Effekte der Klima- und Umweltfaktoren in der Pflanzenwachstumsmodellierung und Prognosesystemen zu berücksichtigen [Se17]. Durch den beschriebenen Versuch konnten wertvolle Erkenntnisse über den Einsatz drahtloser Funksensornetzwerke und deren Verknüpfung mit spektralen Daten gewonnen werden. Es konnte ein Proof-of-Concept erreicht werden, der die Potenziale der Technologie aufzeigt.

Literaturverzeichnis

- [Be15] Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M. L., Bareth, G.: „Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley“. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 39 (1. Januar 2015): 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>.
- [CAS16] Capalbo, S. M., Antle, J. M., Seavert, C.: „Next generation data systems and knowledge products to support agricultural producers and science-based policy decision making“. *Agricultural Systems* 155 (1. Januar 2017): 191-99. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.009>.
- [OMR15] Ojha, T., Misra, S., Raghuwansi, N. S.: „Wireless Sensor Networks for Agriculture: The State-of-the-Art in Practice and Future Challenges“. *Computers and Electronics in Agriculture* 118 (Oktober 2015): 66-84. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>.
- [Se17] Seidel, P.: „Eingriff von Schaderregern in den Ertragsbildungsprozess als Grundlage für eine Abbildung in Kulturpflanzenwachstumsmodellen: Neue Herausforderungen - alte Probleme!: Impacts of plant pests on the yield forming process taken as a basis for simulation with crop growth models: New challenges - old problems!“, 1. Januar 2017. <https://doi.org/10.5073/jka.2017.456.000>.
- [Th10] Thöle, H.: „Ansätze zur statistischen Auswertung von On-Farm-Experimenten mit georeferenzierten Daten“, 25. November 2010. <https://doi.org/10.18452/16232>.

Fuzzy Farmer – optimierte Stickstoffdüngung durch mehrparametrische Datenfusion und präzise Applikation in Echtzeit

Andreas Heiß¹, Dimitrios S. Paraforos¹, Galibjon M. Sharipov¹ und
Hans W. Griepentrog¹

Abstract: Zunehmende Umweltbedenken zwingen die Pflanzenproduktion dazu, die Effizienz der mineralischen Stickstoff (N)-Düngung zu steigern. Ein vielversprechender Ansatz ist hierbei eine kleinräumig angepasste N-Düngung, die mehrere für das Pflanzenwachstum relevante Parameter berücksichtigt. Ziel des Projektes ist es, ein auf der Fuzzy-Set-Theorie basierendes Expertensystem zu entwickeln, bei dem der Landwirt oder Pflanzenbauberater die relevanten Wirkzusammenhänge für eine konkrete Gabe definiert. Darauf basierend soll ein numerischer Algorithmus die Information aus einem Biomassesensor in Echtzeit mit weiteren kartierten Parametern verknüpfen, um die passende Dosiermenge auszugeben. Komplettiert wird der Ansatz durch die Entwicklung eines Gesamtmodells des Mineraldünger-Schleuderstreuers, das optimiert die Applikation sowohl in Querrichtung mit unterschiedlichen Dosiermengen der linken und rechten Teilbreite als auch räumlich und zeitlich dynamisch in Längsrichtung umsetzt. Erste Ergebnisse demonstrieren die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Fuzzy Expertensystems. Untersuchungen mit Hinzunahme von Bodeninformation zeigen die hohe Flexibilität des Konzeptes auf.

Keywords: Künstliche Intelligenz, Fuzzy Expertensysteme, Datenfusion, teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, kleinräumige Heterogenität

1 Einleitung

Mittlere Verwertungsraten in der mineralischen Stickstoff (N)-Düngung liegen weltweit gesehen bei etwa 50 %. Dies führt zu erheblichen Treibhausgas-Emissionen sowie einer Verunreinigung von Luft und Trinkwasserressourcen [La14]. Umso wichtiger ist es deshalb, pflanzenbauliche und technische Potenziale auszuschöpfen. Probleme bei der Düngerapplikation stellen heute die Hauptparameter Dosiermenge, meist aus dem Pflanzenbedarf abgeleitet, und Verteilungsgüte des Düngers, meist technisch bedingt, dar. Angestrebt werden muss eine hohe Arbeitsqualität aus beiden Parametern.

Teilflächenspezifische N-Düngung ist ein vielversprechender Ansatz zur Vermeidung von N-Überschüssen [GK00]. Bei der Echtzeit-Applikation mit Biomasse-Sensoren wird in der Regel nur ein einziger Pflanzenparameter berücksichtigt, obwohl sich eine adäquate Dosiermenge auch in Kombination mit weiteren Faktoren ergibt. Es kommt daher häufig zu einer Fehldüngung, wenn etwa die konkrete Witterungssituation oder die variierende

¹ Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart, Korrespondenz:
andreas.heiss@uni-hohenheim.de

Bodengüte nicht berücksichtigt werden. Hersteller von Sensorsystemen bieten zum Teil eine Überlagerung mit beispielsweise einer Ertragspotenzialkarte an, was jedoch kein echtes Multiparametersystem mit numerischer Verknüpfung darstellt [Re07]. Auch in der Modellierung von Ackerbausystemen für Probleme der teilflächenspezifischen N-Düngung ist aufgrund der hohen Komplexität und Dynamik der Bedingungen im Freiland in naher Zukunft keine Praxisreife zu erwarten.

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich Bestandsunterschiede in Weizen auf Distanzen unter 15 m und selten über 30 m zeigen können [Gr07]. Daraus wird deutlich, dass eine Teilschlagtechnik mit heute üblichen Arbeitsbreiten auch eine Variierung der Dosiermenge in Teilbreiten realisieren muss. Dies ist bei Zweiseiben-Schleuderstreuern bisher nur in begrenztem Umfang gegeben. Beim Einsatz von Echtzeit-Biomassesensoren ist außerdem die Änderung der Längsverteilung bisher noch nicht als dynamischer Steueralgorithmus realisiert. Auf dem Spot, auf dem der Nährstoffbedarf in Echtzeit sensorisch erfasst wird, wird daher häufig der entsprechende Dünger nicht platziert.

Ziel des Projektes „Fuzzy Farmer“ ist es, eine auf Expertenwissen basierende, kleinräumig angepasste N-Düngung zu realisieren. Eine Optimierung des Anbaumanagements soll zu wirksamen Minderungs- und Anpassungsoptionen führen, um damit negative klimaschädigende Effekte zu minimieren. Konkrete Arbeitsziele des Vorhabens sind:

- durch ein auf der Fuzzy Set Theorie basierendes System Expertenwissen zu nutzen, um eine mehrparametrische Datenfusion zur Ausgabe von kleinräumig angepassten N-Dosiermengen zu realisieren.
- durch die Entwicklung von Modellen des Sensor-Streuer-Systems die Applikation von Mineraldünger hinsichtlich Dosierung und Verteilung als Teilschlagtechnik wesentlich zu verbessern.
- durch eine automatisierte, durchgängig digitale Prozesskette den Aufwand für Düngeplanung und -dokumentation deutlich zu minimieren.

2 Material und Methoden

2.1 Aufbau des Gesamtsystems

Die Systemarchitektur ist in Abb. 1 dargestellt. Dabei sind ein Farm-Management-Informationen-System (FMIS) und ein Applikationssystem die beiden Hauptkomponenten. Entscheidungs- und Fusionsalgorithmus bilden zusammen ein Fuzzy Expertensystem. Im Entscheidungsalgorithmus werden durch einen Landwirt oder Berater Wirkzusammenhänge definiert. Fuzzy Logic ist gut an die Kognition des Menschen angepasst und berücksichtigt im Gegensatz zur booleschen Logik die Unschärfe von Information, welche bei natürlichen Prozessen auftritt. Im Fusionsalgorithmus werden die

Vorgaben des Experten genutzt, um die Daten aus dem Biomassesensor in Echtzeit mit weiteren Parametern zu fusionieren und Dosiermengen auszugeben.

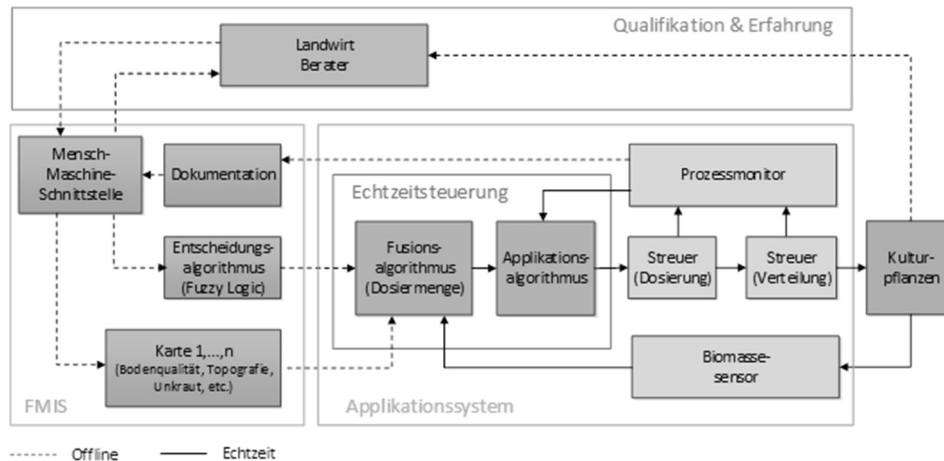


Abb. 1: Systemarchitektur

Die Applikation der Düngemittel in Echtzeit muss die Sollwertvorgaben genau und zuverlässig erfüllen. Hierbei sollen zumindest zwei Teilbreiten innerhalb des Applikationssystems umgesetzt werden. Um die präzise Düngung zu realisieren, soll ein neues, robustes, optimierungsbasiertes und echtzeitfähiges Regelungskonzept im Applikationsalgorithmus implementiert werden. Dieses soll eine Optimierung der zeitlich-räumlichen Versätze, sowohl in Längs- als auch in Querrichtung, sicherstellen.

Im FMIS wird das Expertenwissen über eine benutzerfreundliche Webmaske erfasst und zusammen mit den erforderlichen Geodaten an das Applikationssystem weitergeleitet. Die Prozesskette verläuft von der Bestandesbonitur bis zur Dokumentation automatisiert und durchgehend digital. Durch die Rückkopplung von aufbereiteter Prozessinformation wird ein Wissenszuwachs generiert, der in die nächste Entscheidungsfindung einfließen kann.

2.2 Modellierung des Fuzzy Expertensystems

In Abb. 2 ist die Funktionsweise eines Takagi-Sugeno Fuzzy Inferenzsystems (FIS) schematisch dargestellt. Aufgrund von Prozesswissen werden Zugehörigkeitsfunktionen für Input und Output definiert und linguistischen Termen zugeordnet. In der Regelbasis legt der Experte die Zuordnung von Input zu Output fest. Bei der Fuzzifizierung werden aus scharfen (,Crisp‘) Input-Werten Zugehörigkeitsgrade ermittelt. In der Inferenz kommen Verfahren der Aussagenlogik zur Anwendung, um aus dem unscharfen (,Fuzzy‘) Input auf Grundlage der Regelbasis eine Implikation auf den Output umzusetzen. In der Regel sind mehrere Zugehörigkeitsfunktionen des Outputs betroffen, welche dann zum Endergebnis aggregiert und zu einem Crisp Output defuzzifiziert werden.

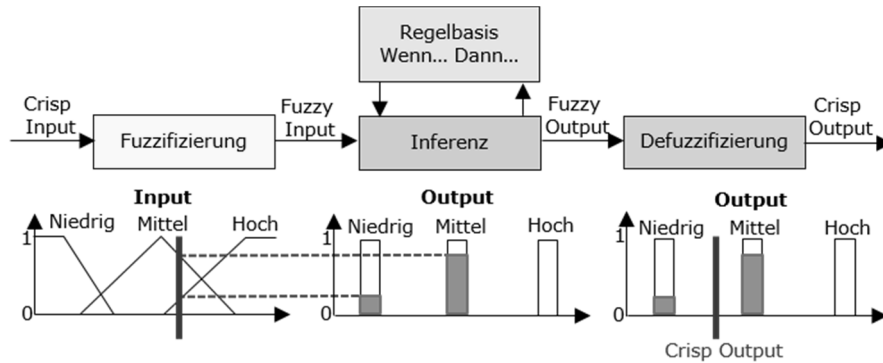


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines Takagi-Sugeno Fuzzy Inferenzsystems

In 2019 wurden mit einem Yara N-Sensor ALS2 (Yara GmbH & Co. KG, Dülmen, Germany) zur zweiten (N2) und dritten (N3) N-Gabe Messungen in Winterweizen durchgeführt. Aus den georeferenzierten Aufzeichnungen wurden ein normalisierter Sensorwert (SN), welcher der N-Aufnahme des Bestandes in kg/ha entspricht, die N-Dosiermenge (DR_{YNS}) sowie die schlagspezifischen Kalibrierwerte genutzt. Mit der Software MATLAB R2019a (The Mathworks Inc., Natick, Massachusetts, USA) wurde ein Algorithmus entwickelt, der abhängig von den Kalibrierwerten ein Takagi-Sugeno FIS erstellt, welches die Düngealgorithmen des N-Sensors imitiert. Der Algorithmus wurde für einen Datensatz aus N2 optimiert und mit weiteren Daten aus N2 und N3 validiert.

Zum Fuzzy Logic-basierten N-Sensor Modell für N2 wurde die kartierte scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens (ECa) als weiterer Input aufgenommen. Es wurden zusätzliche Regeln mit halber Gewichtung definiert, die eine Zunahme der Dosiermenge mit zunehmender ECa implizieren. Dies fußte auf den Annahmen, dass auf den untersuchten Schlägen der Boden mit steigender ECa tendenziell schwerer wird und zu N2 eine ausreichende Wasserversorgung vorhanden war. Mit aufgezeichneten SN-Werten sowie ECa-Werten, welche von der Position der Messpunkte abgefragt wurden, wurde das Fuzzy Expertensystem simuliert.

3 Erste Ergebnisse und Diskussion

Die Charakteristik der generierten FIS kann mit Kennlinien und -feldern veranschaulicht werden. Abb. 3 (a) zeigt den Verlauf der Dosiermenge aus dem FIS (DR_{FIS}) abhängig von der Eingangsgröße SN für N2 im Feld Schafhauser Straße. Der Verlauf ober- und unterhalb des Biomasse-Schwellwertes (cutoff) entspricht grundsätzlich dem Verhalten des N-Sensors. Wie beim kommerziellen System wurde eine Limitierung der DR_{FIS} in einem Bereich von 0 bis 120 kg/ha implementiert, weil das System ab einem bestimmten SN-Wert negative DR_{FIS} ausgeben würde. Dies ist methodisch bedingt und dazu nötig, dass das FIS bei hohen SN-Werten nahe des Minimums noch zuverlässig funktioniert. In

Abb. 3 (b) ist die Charakteristik desselben FIS bei Hinzunahme der ECa dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Verlauf der DR_{FIS} abhängig von SN grundsätzlich erhalten bleibt, jedoch um die ECa als zusätzliche Dimension erweitert wird.

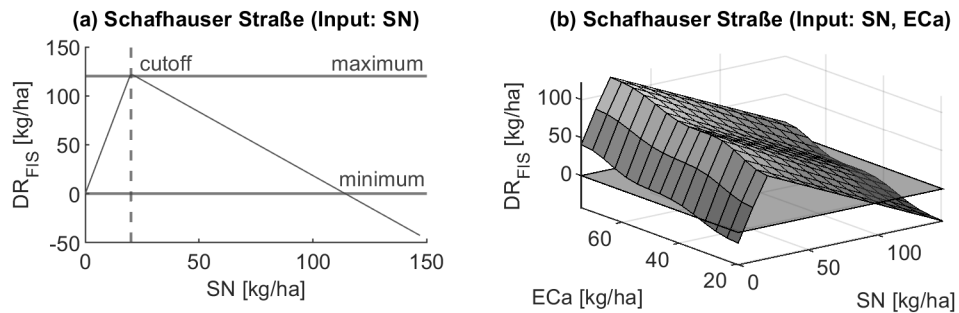


Abb. 3: Charakteristik der Fuzzy-Inferenzsysteme für Schafhauser Straße bei N2. SN-normalisierter Sensorwert, DR_{FIS} -Dosiermenge aus dem Fuzzy Inferenzsystem, ECa-scheinbare elektrische Leitfähigkeit

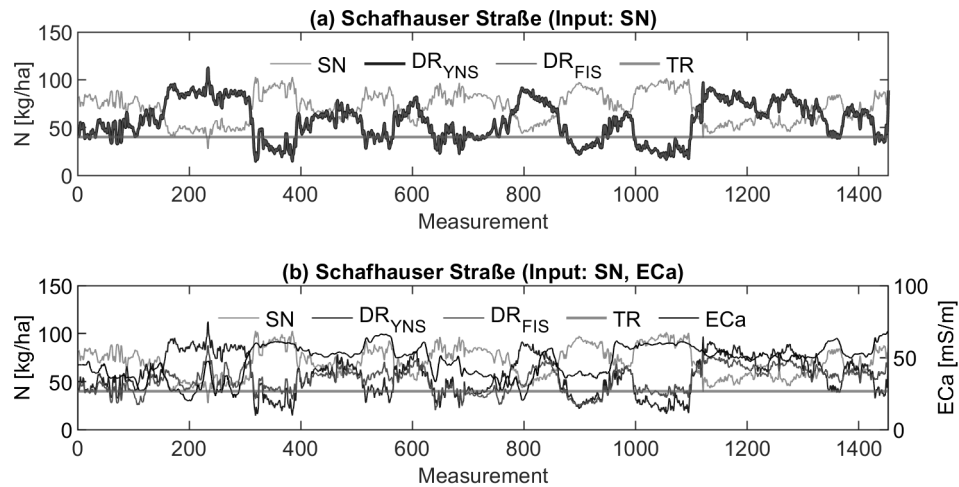


Abb. 4: Simulationsergebnisse für Schafhauser Straße bei N2. SN-normalisierter Sensorwert, DR_{YNS} -Dosiermenge aus dem N-Sensor System, DR_{FIS} -Dosiermenge aus dem Fuzzy Inferenzsystem, TR-Zielmenge, ECa-scheinbare elektrische Leitfähigkeit

In beiden Teilplots der Abb. 4 sind der chronologische Verlauf des SN-Wertes und der DR_{YNS} , sowie die Zielmenge für Schafhauser Straße bei N2 (TR) abgebildet. Dieser Datensatz wurde zur Validierung des entwickelten Algorithmus verwendet. Abb. 4 (a) zeigt den entsprechenden Verlauf der DR_{FIS} . Diese ist nahezu deckungsgleich zur DR_{YNS} , was auf eine gute Performanz hinsichtlich der Imitation des N-Sensors hindeutet. Für Abb. 4 (b) wurde bei der Berechnung der DR_{FIS} zusätzlich die ECa als weiterer Input berücksichtigt. Auch deren Verlauf ist dargestellt. In weiten Teilen verlaufen DR_{YNS} und

DR_{FIS} sehr ähnlich und weichen nur um wenige kg/ha voneinander ab. Jedoch sind auch bei einer halben Gewichtung der Eingangsgröße ECa noch starke Abweichungen möglich.

4 Schlussfolgerung und Ausblick

Es wurde ein Algorithmus entwickelt, der basierend auf feldspezifischen Kalibrierungen ein FIS erstellt, welches das Verhalten des kommerziellen Yara N-Sensor imitiert. Erste Validierungen zeigen die Anpassungsfähigkeit innerhalb gegebener Grenzen bezüglich des Einsatzzeitpunktes in Winterweizen. Durch die Hinzunahme der ECa als weiterer Eingangsgröße konnten die Standortverhältnisse in Simulationen berücksichtigt werden. Der entwickelte Algorithmus sollte in einem iterativen Prozess für weitere Einsatzszenarien angepasst werden. Durch Anpassungen der Zugehörigkeitsfunktionen und Regeln könnte ein Experte die Vorgaben bei einer konkreten Gabe modifizieren. In Simulationen sollte eine Verknüpfung mit weiteren Eingangsparametern, wie beispielsweise der Topographie oder Bodenschätzdaten, erfolgen. Schließlich soll das mehrparametrische Fuzzy Expertensystem in Feldversuchen validiert werden.

Förderung

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. Projektlaufzeit: 01.09.2018-31.10.2021. Projektpartner: Universität Hohenheim (Koordination Prof. Dr. Hans W. Griepentrog), TU Chemnitz, Hanse Agro GmbH, DISY Informationssysteme GmbH, YARA GmbH & Co. KG, RAUCH Landmaschinenfabrik GmbH.

Literaturverzeichnis

- [La14] Lassaletta, L. et al.: 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: The relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters* 9, 2014.
- [GK00] Griepentrog, H. W. and Kyhn, M.: Strategies for site specific fertilization in a highly productive agricultural region. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*, Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July, 2000. American Society of Agronomy, 2000.
- [Re07] Reckleben, Y. et al.: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. *KTBL-Heft 75*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, 2007.
- [Gr07] Griepentrog, H. W. et al.: A patch-size index to assess machinery to match soil and crop spatial variability. In: *Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*, Skiathos, Greece, 3-6 June, 2007. Wageningen Press, Wageningen, The Netherlands, p. 407-413, 2007.

Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen – Eine empirische Akzeptanzuntersuchung mit Landwirten und Lohnunternehmern

Maximilian Jatzlau¹

Abstract: Die Digitalisierung in der Landwirtschaft verändert die Informationsbeschaffung, den Informationsaustausch und die Zusammenarbeit mit außerbetrieblichen Akteuren. Ein Online-Marktplatz für das Anbieten und Suchen von landwirtschaftlichen Dienstleistungen hat sich im Gegensatz zu anderen Branchen bisher nicht etabliert. Im Rahmen von zwei empirischen Erhebungen mit 251 Landwirten und 101 Lohnunternehmern wurde die grundsätzliche Akzeptanz für einen Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen untersucht. Das Meinungsbild der Landwirte und Lohnunternehmer zum Online-Marktplatz ist sehr heterogen. Die Mehrheit der Befragten äußert Interesse an solch einem digitalen Marktplatz, wobei die Gruppe der Landwirte insgesamt ein größeres Interesse zeigt. Vor dem Hintergrund der Bedeutung des persönlichen Austausches zwischen Landwirten und Lohnunternehmen im Rahmen einer Dienstleistungsvereinbarung wird deutlich, dass das Potenzial für einen Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen gegenwärtig in erster Linie bei der Anbahnung einer Dienstleistung zwischen Landwirt und Lohnunternehmer liegt.

Keywords: Online-Marktplatz, Akzeptanzuntersuchung, landwirtschaftliche Dienstleistungen, Lohnunternehmen, ODIL

1 Einleitung

Durch die zunehmende Digitalisierung in der Landwirtschaft verändern sich die Betriebsabläufe, die Steuerung von Maschinen in der Innen- und Außenwirtschaft sowie die Verwaltung und Informationsverarbeitung landwirtschaftlicher Betriebe. Auch die Informationsbeschaffung, der Informationsaustausch und die betriebsübergreifende Zusammenarbeit mit Lohnunternehmern als Anbieter landwirtschaftlicher Dienstleistungen wandeln sich durch die Digitalisierung. Mit eigenen Homepages und Präsenz in den sozialen Medien nutzen Lohnunternehmen digitale Möglichkeiten, um ihr Dienstleistungsangebot im Internet zu präsentieren. Im Projekt ODIL wurde ein prototypischer Marktplatz entwickelt, welcher für Landwirte und Lohnunternehmer das systematische Anbieten und Suchen sowie die Anbahnung landwirtschaftlicher Dienstleistungen auf einem Online-Marktplatz ermöglicht. Eine Einigung auf eine landwirtschaftliche Dienstleistung sowie der Austausch aller notwendigen Informationen im Vorfeld sowie im

¹Universität Bonn, Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik, Nußallee 21, 53115 Bonn,
maximilian.jatzlau@ilr.uni-bonn.de

Nachgang der Dienstleistung können entweder vertraulich über die dezentrale Infrastruktur des Marktplatzes oder auf traditionellem Wege durchgeführt werden [Ba18].

Digitale Plattformen, z. B. für den Online-Einkauf landwirtschaftlicher Betriebsmittel oder den Kauf und Verkauf von Gebrauchtmaschinen, gibt es seit mehreren Dekaden, sie werden gegenwärtig von einem großen Teil der landwirtschaftlichen Akteure genutzt und in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen [C118; K116]. Zudem beschäftigen sich viele wissenschaftliche Arbeiten u. a. mit Erfolgsfaktoren und Aspekten der Nutzerakzeptanz digitaler Marktplätze [u. a. C105; FDM18]. Online-Marktplätze für das Anbieten und Suchen landwirtschaftlicher Dienstleistungen haben sich im Gegensatz zu anderen Dienstleistungsbranchen (im Handwerk z. B. MyHammer) trotz bereits einiger existierender Plattformen hingegen in der landwirtschaftlichen Praxis bisher nicht etabliert und waren bislang nicht Gegenstand wissenschaftlicher Akzeptanzuntersuchungen.

Geschäftsbeziehungen zwischen Landwirten und Lohnunternehmern sind neben dem Arbeitspreis, der räumlichen Begrenzung sowie dem Dienstleistungsangebot durch weitere Determinanten geprägt. Determinanten, wie langjährige Zusammenarbeit, Arbeitsqualität, Vertrauen, Zuverlässigkeit sowie die Verfügbarkeit des Lohnunternehmers bei Arbeitsspitzen, beeinflussen ebenfalls die Zusammenarbeit mit Lohnunternehmen [Fr10]. Zudem sind rund 200.000 landwirtschaftliche Betriebe Mitglied in einem der deutschlandweit 260 Maschinenringe, um – ebenso wie bei Maschinengemeinschaften – bestimmte, meist kapitalintensive, Arbeiten gemeinschaftlich zu erledigen [Ma19].

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Untersuchung mit explorativem Charakter Erkenntnisse zu erlangen, ob und in welchen Ausprägungen überhaupt eine grundsätzliche Akzeptanz für einen Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen bei Landwirten und Lohnunternehmern vorhanden ist.

2 Methodischer Ansatz und Datengrundlage

Zur Gewinnung eines breiten Meinungsbildes hinsichtlich der Beurteilung eines Online-Marktplatzes für landwirtschaftliche Dienstleistungen wurden zwischen Juni und August 2019 deutschlandweit Landwirte und Lohnunternehmer in zwei Online-Umfragen befragt. Der im ODiL-Projekt entwickelte dezentrale Marktplatz für die Anbahnung und Abwicklung landwirtschaftlicher Dienstleistungen wurde den Teilnehmern in der Umfrage stichpunktartig und vereinfacht erklärt. Anschließend konnten die Landwirte und Lohnunternehmer anhand von 7-stufigen Likert-Skalen (1 = Stimme voll und ganz zu; 7 = Stimme überhaupt nicht zu) ihre Einstellungen zum Online-Marktplatz ausdrücken. Für differenzierte Auswertungsmöglichkeiten wurden zusätzlich betriebliche Merkmale, soziodemografische Faktoren sowie Fragen zur Digitalisierung im Betrieb, Einstellung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft und zur Zusammenarbeit mit Landwirten bzw. Lohnunternehmern gestellt. Zudem wurden die Umfrageteilnehmer abschließend gebeten, ihre Meinung zum Online-Marktplatz frei zu äußern. Diese individuellen Anmer-

kungen fließen neben den quantitativen Auswertungen ergänzend in die Ergebnisse ein und bieten zusätzliche Anknüpfungspunkte für die weitere Forschung. Insgesamt haben 251 Landwirte und 101 Lohnunternehmer im verwertbaren Umfang an der Umfrage teilgenommen. Ein Anspruch auf Repräsentativität kann nicht erhoben werden.

3 Ergebnisse

Das Meinungsbild der befragten Landwirte und Lohnunternehmer zum Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen ist sehr heterogen (vgl. Tab. 1). Rund die Hälfte der Lohnunternehmer (49 %) und rund ein Drittel der Landwirte (36 %) sind der Meinung, dass die Landwirte bzw. sie selbst alle relevanten Lohnunternehmer in der Region kennen und ein Online-Marktplatz für die Suche und Anfrage landwirtschaftlicher Dienstleistungen nicht benötigt wird. Dazu ergänzend verweisen einige Umfrageteilnehmer bei den individuellen Anmerkungen auch auf die Maschinenringe und den Bund der Lohnunternehmer als Vermittler, falls ein Landwirt einen neuen Lohnunternehmer bzw. eine bestimmte Dienstleistung sucht. Demgegenüber widersprachen 31 % der befragten Lohnunternehmer und 44 % der befragten Landwirte, dass die Landwirte bzw. sie alle relevanten Lohnunternehmen in ihrer Region kennen. Dies spiegelt sich auch im grundsätzlichen Interesse an dem in der Umfrage beschriebenen Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen wider. Während 51 % der Landwirte und 43 % der Lohnunternehmer sich grundsätzlich vorstellen können, den Marktplatz für die Nachfrage bzw. das Anbieten von klassischen landwirtschaftlichen Dienstleistungen selbst zu nutzen, lehnen jeweils knapp ein Drittel der befragten Lohnunternehmer (32 %) und Landwirte (31 %) solch einen Online-Marktplatz für eigene Aktivitäten ab. Das Interesse des jeweils anderen für die Nutzung des Online-Marktplatzes insgesamt schätzen Lohnunternehmer und Landwirte deutlich höher ein. Knapp zwei Drittel (64 %) der Lohnunternehmer können sich vorstellen, dass Landwirte den beschriebenen Online-Marktplatz nutzen würden, um Dienstleistungsangebote zu suchen und zu erhalten. Drei Viertel (75 %) der Landwirte können sich vorstellen, dass Lohnunternehmer den Online-Marktplatz nutzen würden, um mit ihren Dienstleistungsangeboten präsent zu sein. Lediglich 11 % der befragten Landwirte glauben nicht, dass Lohnunternehmer solch eine Plattform nutzen würden. Damit schätzen die Landwirte das Interesse der Lohnunternehmer am vorgestellten Online-Marktplatz deutlich höher ein als die Lohnunternehmer insgesamt ihr eigenes Interesse bekunden. Dies zeigt sich auch beim Vergleich der gebildeten Mittelwerte (2,84 zu 3,90; vgl. Tab.1), welche zudem die Ausprägungsstärke der Zustimmung bzw. Ablehnung des jeweiligen Items berücksichtigen.

Ähnlich ausgeprägt sind die Zustimmungsteile hinsichtlich einer möglichen Nutzung des Online-Marktplatzes zum kurzfristigen Anbieten freier Arbeits- und Maschinenkapazitäten. Dies könnte insbesondere in der Erntezeit von besonderem Interesse sein. Während 35 % der befragten Lohnunternehmer daran kein Interesse haben, können sich knapp die Hälfte (48 %) der Lohnunternehmer vorstellen, kurzfristig online auf freie Arbeits- und Maschinenkapazitäten aufmerksam zu machen. Eindeutig ist diesbezüglich

Landwirte (LW) n=251			Lohnunternehmen (LU) n=101		
Ich kann mir vorstellen	Ja	Nein	Ja	Nein	Ich kann mir vorstellen
... solch einen Markt- platz für die Nachfrage nach Dienstleistungen zu nutzen.	51 %	31 %	64 %	25 %	..., dass LW solch einen Marktplatz nutzen wür- den, um Dienstleistungs- angebote zu erhalten.
	$\bar{x} = 3,72$		$\bar{x} = 3,34$		
Ich kenne alle für mich relevanten LU und brau- che solch einen Markt- platz nicht.	36 %	44 %	49 %	31 %	LW kennen alle für sich relevanten LU und brauchen solch einen Marktplatz nicht.
	$\bar{x} = 4,15$		$\bar{x} = 2,88$		
..., dass solch ein Marktplatz für sonsti- ge/neuere Dienstleis- tungen interessant ist.	73 %	8 %	71 %	9 %	..., dass solch ein Marktplatz für sonsti- ge/neuere Dienstleis- tungen interessant ist.
	$\bar{x} = 2,89$		$\bar{x} = 2,84$		
..., dass LU den Markt- platz nutzen würden, um ihre Dienstleistungsan- gebote zu präsentieren.	75 %	11 %	43 %	32 %	... solch einen Markt- platz zu nutzen, um mit Dienstleistungsangebo- ten präsent zu sein.
	$\bar{x} = 2,84$		$\bar{x} = 3,90$		
... durch den Marktplatz eine detailliertere Über- sicht über die angebote- nen Dienstleistungen der LU zu bekommen.	61 %	13 %	48 %	22 %	... durch solch einen Marktplatz den LW detaillierter unser Dienstleistungsangebot zu präsentieren.
	$\bar{x} = 3,15$		$\bar{x} = 3,61$		
..., dass LU solch einen Marktplatz nutzen wür- den, um kurzfristig freie Kapazitäten anzubieten.	81 %	7 %	48 %	35 %	... solch einen Markt- platz zu nutzen, um kurzfristig freie Kapazi- täten anzubieten.
	$\bar{x} = 2,64$		$\bar{x} = 3,70$		
..., dass LU solch einen Marktplatz nutzen wür- den, um Landwirte zu kontaktieren.	84 %	6 %	64 %	13 %	... solch einen Markt- platz zu nutzen, um Landwirte mit Gesu- chen zu kontaktieren.
	$\bar{x} = 2,55$		$\bar{x} = 3,11$		
... selbst Dienstleistun- gen auf solch einem Marktplatz anzubieten.	47 %	40 %			
	$\bar{x} = 3,99$				

Tab. 1: Einstellungen von Landwirten und Lohnunternehmern zu Aspekten des Online-Marktplatzes für landwirtschaftliche Dienstleistungen²

² Die Statements sind für eine bessere Übersicht sinngemäß gekürzt. Die verschiedenen Ausprägungen der Zustimmung (1 = Stimme voll und ganz zu; 2 = Stimme zu; 3 = Stimme eher zu) sind ebenso wie die Ausprägungen der Ablehnung (5 = Stimme eher nicht zu; 6 = Stimme nicht zu; 7 = Stimme überhaupt nicht zu) in „ja“ und „nein“ zusammengefasst. Die Stärke der Ausprägung fließt in den gebildeten Mittelwert ein.

das Meinungsbild bei der Einschätzung der Landwirte. 81 % der Befragten gehen davon aus, dass Lohnunternehmer mögliche kurzfristige freie Arbeits- und Maschinenkapazitäten auf der Dienstleistungsplattform für eine höhere Auslastungsrate – ggf. auch überregional – anbieten würden. Unabhängig von dem eigenen Interesse an der Plattform gaben 73 % der Landwirte und 71 % der Lohnunternehmer an, dass ein Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen besonders für sonstige oder neuere Dienstleistungen, wie z. B. Erstellung von Applikationskarten oder Rehkitzrettung, interessant sein könnte. 61 % der Landwirte sehen nicht nur im kurz- und langfristigen Anbieten von landwirtschaftlichen Dienstleistungen einen Mehrwert beim Online-Marktplatz, sondern auch um eine detaillierte Übersicht der Dienstleistungsangebote und der Mechanisierung der Lohnunternehmen zu erhalten, wobei nur 48 % der befragten Lohnunternehmen bereit wären, ihre Angebotspalette detailliert auf dem Marktplatz zu präsentieren. Die insgesamt höchste Zustimmung seitens der Landwirte (84 % und $\bar{x} = 2,55$) besteht darin, dass Lohnunternehmer den Marktplatz nutzen würden, um Landwirte zu kontaktieren, die auf dem Marktplatz nach bestimmten (Spezial-)Dienstleistungen suchen. Auch knapp zwei Drittel (64 %) der Lohnunternehmer können sich vorstellen, den Marktplatz auf diese Art und Weise für ihre Lohnunternehmung zu nutzen. Knapp die Hälfte (47 %) der Landwirte kann sich vorstellen, den Online-Marktplatz zu nutzen, um selbst landwirtschaftliche Dienstleistungen auf dem Marktplatz anzubieten, wenn freie Arbeits- und Maschinenkapazitäten vorhanden sind. Demgegenüber haben 40 % der befragten Landwirte kein Interesse daran, einen Online-Marktplatz zu nutzen, um selbst landwirtschaftliche Dienstleistungen anzubieten.

Im Rahmen der individuellen Anmerkungen betonen einige Landwirte und Lohnunternehmer die hohe Bedeutung des persönlichen Kontaktes und Austausches miteinander sowie die Bedeutung langjähriger Geschäftsbeziehungen. Während einige Landwirte sich durch den Marktplatz Transparenz und etwas mehr Vergleichsmöglichkeiten erhoffen, befürchtet ein Teil der Lohnunternehmer – auch wenn beim vorgestellten Online-Marktplatz die Preisangabe freiwillig ist – einen erhöhten Preiskampf durch den Marktplatz, welcher insbesondere durch überregional tätige sowie neu gegründete Lohnunternehmen durch „Preisdumping“ forciert werden könnte. Seitens einiger Lohnunternehmer wird zwar durch die Präsenz auf dem Online-Marktplatz das Potenzial für Neukunden gesehen, gleichzeitig aber auch die Sorge geäußert, dass problematische Kunden leichter Lohnunternehmen finden. Sowohl einige Landwirte als auch Lohnunternehmer stellen sich die Frage, wie die Arbeitsqualität eines Lohnunternehmers auf dem Marktplatz abgebildet werden kann.

4 Fazit und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass trotz der Bedeutung sozialer Faktoren bei Geschäftsbeziehungen zwischen Landwirten und Lohnunternehmern bei der Mehrheit der befragten Akteure grundsätzlich Interesse an einem Online-Marktplatz für landwirtschaftliche Dienstleistungen besteht. In der Breite ist dies beim Landwirt (Nachfrager)

stärker ausgeprägt als beim Lohnunternehmer (Anbieter). Auffallend ist dabei besonders, dass insgesamt weniger Lohnunternehmer Interesse daran bekunden, ergänzend zu anderen Werbemaßnahmen, wie z. B. eigene Homepages und Aktivitäten in den sozialen Medien, ihr Dienstleistungsangebot mit anderen Lohnunternehmen vergleichend zu präsentieren. Aus den individuellen Kommentierungen zum Online-Marktplatz wird vor dem Hintergrund der Bedeutung der persönlichen Kommunikation deutlich, dass das Potenzial einer Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen in erster Linie in der Zusammenführung von entsprechenden Angeboten und Gesuchen liegt, welche anschließend auf traditionellem Wege außerhalb des Marktplatzes, insbesondere durch persönliche Gespräche, umgesetzt würden.

In der landwirtschaftlichen Praxis besteht für eine erfolgreiche Umsetzung eines Online-Marktplatzes, unabhängig von der genauen Ausgestaltung und Umsetzung einer entsprechenden Online-Plattform, die Herausforderung, einen Marktplatz mit ausreichend Angeboten und Gesuchen zu füllen. Diese initiale Phase, den Offline-Marktplatz ins Internet zu verlagern und den Online-Marktplatz „mit Leben zu füllen“, ist bisher keinem der existierenden Online-Marktplätze für landwirtschaftliche Dienstleistungen gelungen, obwohl die Ergebnisse der Studie ein grundsätzliches Interesse vieler Akteure zeigen.

Literaturverzeichnis

- [Ba18] Bauer, J. et al.: Dezentraler Marktplatz in einer offenen, dezentralen Software-Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen. In (Ruckelshausen, A. et al., Hrsg.): Referate der 38. GIL-Jahrestagung in Kiel – Digitale Marktplätze und Plattformen. Köllen, Bonn, S. 35-38, 2018.
- [Cl05] Clasen, M.: Erfolgsfaktoren digitaler Marktplätze in der Agrar- und Ernährungsindustrie, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2005.
- [Cl18] Clasen, M.: Die Rolle Digitaler Marktplätze in einer vollständig selbstgesteuerten Landwirtschaft. In (Ruckelshausen, A. et al., Hrsg.): Referate der 38. GIL-Jahrestagung in Kiel – Digitale Marktplätze und Plattformen. Köllen, Bonn, S. 17-22, 2018.
- [FDM18] Fecke, W.; Danne, M.; Mußhoff, O.: Digitalisierung in der Landwirtschaft: Ein Experiment zum Online-Einkauf von Pflanzenschutzmitteln. In (Ruckelshausen, A. et al., Hrsg.): Referate der 38. GIL-Jahrestagung in Kiel – Digitale Marktplätze und Plattformen. Köllen, Bonn, S. 71-74, 2018.
- [Fr10] Franz, A. et al.: Geschäftsbeziehungen zwischen Landwirten und Lohnunternehmen: Ergebnisse einer empirischen Analyse. In Yearbook of Socioeconomics in Agriculture. Swiss Society for Agricultural Economics and Rural Sociology, vol. 3(1), S. 195-230, 2010.
- [K116] Kleffmann Group, New Media Tracker 2016, www.kleffmann.com/de/kleffmann-group/news--presse/pressemitteilungen/03012017_new_media_tracker, Stand: 12.12.2019.
- [Ma19] Homepage Maschinenring Deutschland, www.maschinenring.de/maschinenring-deutschland/profil, Stand: 04.11.2019.

Kosteneffizienz der THG-Minderung mit einer Stickstoffdüngersteuer unter Berücksichtigung der Risikoeinstellung von Landwirten

Yusuf Nadi Karatay^{1,2}, Ausra Nausediene^{1,3} und Andreas Meyer-Aurich¹

Abstract: Treibhausgasemissionen (THG) durch den Einsatz von Stickstoffdüngemitteln (N) tragen wesentlich zu den THG-Emissionen aus der Landwirtschaft in Deutschland bei. Darüber hinaus sind erhebliche THG-Emissionen mit der Herstellung von N-Düngemitteln verbunden. So kann eine Reduzierung des mineralischen N-Düngereinsatzes zu einer Reduzierung der THG-Emissionen aus dem Agrarsektor beitragen. Eine Düngemittelsteuer ist ein potenzielles Instrument, um Anreize zu schaffen, weniger Düngemittel einzusetzen und zur Minderung der THG-Emissionen beizutragen. Diese Studie liefert Modellergebnisse auf der Grundlage einer stochastischen Simulation mit Produktionsfunktionen aus Feldversuchen unter Berücksichtigung der Risikoeinstellung von Landwirten. Die Modellergebnisse wurden ausgewertet, um risikoeffiziente Strategien zu identifizieren und die Kosten der THG-Minderung mit einer N-Düngersteuer zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigen, dass moderate N-Düngersteuerniveaus mit moderaten Kosten für Roggen und Raps zu N-Düngerreduktionen und damit zu THG-Minderungen führen können. Weizen reagiert jedoch nur bedingt auf Preisänderungen bei N-Düngemitteln mit moderaten N-Düngersteuerniveaus aufgrund qualitätsspezifischer Preiszuschläge. Die Unterschiede in der Reaktion auf N-Dünger und damit die betriebswirtschaftliche Reaktion auf N-Düngersteuer sollten aus der Sicht der THG-Minderung für eine effektive Umsetzung einer möglichen Besteuerung von N-Düngern berücksichtigt werden.

Keywords: Treibhausgas, Vermeidungskosten, Düngereduktion, Risikoaversion, stochastische Simulation

1 Einleitung

Treibhausgasemissionen (THG) durch den Einsatz von Stickstoffdüngemitteln (N) in der Landwirtschaft tragen wesentlich zu den THG-Emissionen des Agrarsektors in Deutschland bei [UN18]. Darüber hinaus sind signifikante THG-Emissionen mit der Herstellung von N-Düngemitteln nach dem Haber-Bosch-Verfahren [BP08] verbunden. So kann eine Reduzierung des mineralischen N-Düngereinsatzes zu einer Reduzierung der THG-Emissionen aus dem Agrarsektor beitragen [KM18]. Eine Steuer auf Düngemittel ist ein potenzielles Instrument, um Anreize für den verminderten Einsatz

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie, Max-Eyth Allee 100, 14469 Potsdam, ykaratay@atb-potsdam.de; ameyer@atb-potsdam.de

² Thünen-Institut, Stabsstelle Klima, Bundesallee 49, 38116 Braunschweig, yusuf.karatay@thuenen.de

³ Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Bioeconomy Development, Research Institute for Bioeconomy, Studentų str. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r., Lithuania, ausra.nausediene@vdu.lt

von Düngemitteln zu schaffen, die wiederum zur Minderung der THG-Emissionen beitragen [OE19]. Obwohl negative Einkommenseffekte einer Implementierung einer N-Düngersteuer entgegenstehen, hat sich gezeigt, dass die THG-Minderung durch N-Düngerreduktion zu geringen Kosten erreicht werden kann [KM18; Ka19]. Darüber hinaus sind Landwirte Mitverursacher der Nitratbelastung des Grundwassers [FB12]. Obwohl die Anwendung des Verursacherprinzips in der Landwirtschaft schwieriger ist als in anderen Sektoren, kann eine Vorsteuer auf N-Dünger mit unterschiedlichen CO₂-Äquivalenzsteuersätzen (9,30 und 50 €/t CO₂e) ökologische Mitvorteile bieten [OE19].

Die Risikoeinstellung des Landwirts kann Auswirkungen auf den Einsatz von N-Düngemitteln haben [Mo13; MK19], so dass unterschiedliche Opportunitätskosten in Abhängigkeit von der Risikoeinstellung auftreten können. Für Schweizer Produktionsbedingungen wurde am Beispiel der Düngung im Maisanbau gezeigt, dass risikoscheuen Landwirten geringere Vermeidungskosten entstehen, um einen reduzierten Düngemittleinsatz zu realisieren [Fi12]. Der Effekt einer N-Düngersteuer war in seiner Untersuchung bei risikoscheuen Landwirten etwas höher ist als bei risikoneutralen Landwirten [Fi12]. Es ist jedoch noch nicht klar, wie die Landwirte auf eine N-Düngersteuer in Deutschland reagieren würden und wie sich dies auf den komparativen Vorteil verschiedener Kulturen im Hinblick auf die Risikoaversion auswirken würde.

Diese Studie liefert Modellergebnisse auf der Grundlage einer Produktionsfunktionsanalyse aus Feldversuchen in Bezug auf die Risikoaversion durch Berechnung von Sicherheitsäquivalenten für verschiedene Stufen der Risikoaversion der Landwirte in einem N-Düngersteuerszenario. Die Modellrechnungen werden für Winterroggen, Winterweizen und Winterraps angewendet, wobei für Weizen spezifische Preisprämien entsprechend der Backqualität berücksichtigt wurden. Das Ziel dieser Studie ist es, die komparativen Vorteile der jeweiligen Kulturpflanzen aus einer kosten- und risikoeffizienten Perspektive der THG-Minderung zu identifizieren.

2 Material und Methoden

2.1 Schätzung der Produktionsfunktionen

Ertragswirkungsdaten zu verschiedenen N-Düngerstufen aus Feldversuchen wurden verwendet, um die Produktionsfunktionen für Roggen, Weizen und Raps für fünf Jahre (2012-2016) im Land Brandenburg zu schätzen [La17]. Für Weizen wurden zusätzlich Daten über die Proteinwirkung auf N-Düngung aus den gleichen Experimenten verwendet, um die Proteinwirkungsfunktionen zu schätzen. Drei Weizenpreise wurden nach drei Weizenqualitäten basierend auf der Proteinkonzentration berechnet; A-Qualität (>13,5 %), Backqualität (13-13,5 %) und Futterqualität (<13 %). Für die wirtschaftliche Analyse wurden die in neun Jahren beobachteten Preise verwendet [Ba19].

2.2 Optimale Intensität und Wirtschaftlichkeit der N-Düngung

Die Gesamtleistung wurde für jede Kultur unter Berücksichtigung der Kosten und Erlöse für alle geschätzten Produktionsfunktionen und Kulturpreise gerechnet. Basierend auf der Vielzahl möglicher Ergebnisse wurden spezifische optimale N-Gaben mit einem Erwartungsnutzenansatz für verschiedene Stufen der Risikoaversion nach [MK19] berechnet. Die Berechnung aller möglichen Gewinnsituationen erfolgte mit einer stochastischen Simulation unter Berücksichtigung einer Kombination jeweils fünf möglicher Ertrags- und Proteinfunktionen und neun möglicher Preise. Die nutzenmaximierenden N-Gaben wurden auf der Grundlage des maximalen Gewinns bzw. maximalen Sicherheitsäquivalents einer niedrigen und einer hohen Risikoaversionseinstellung errechnet. Hierzu wurden alle möglichen ganzzahligen N-Düngemengen für die ausgewählten Kulturarten im relevanten Bereich modelliert. Die Risikoeinstellungen wurden mit absoluten Risikoaversionskoeffizienten von 0,001 bzw. 0,004 modelliert. Die Brutto-Opportunitätskosten wurden als Veränderung des betriebswirtschaftlichen Gewinns oder des Sicherheitsäquivalents als Reaktion auf die angepasste optimale N-Gabe berechnet. Die Ausgaben für die N-Düngersteuer sind nicht als volkswirtschaftliche Kosten zu betrachten, sondern als Allokationseffekt, der an die Landwirte zurückgegeben werden könnte. So wurden für die Berechnung der THG-Vermeidungskosten die durch die N-Düngersteuer bedingten Abgaben der Landwirte von den Brutto-Opportunitätskosten abgezogen und für die weitere Berechnung nur die Opportunitätskosten durch die geringere Düngung herangezogen.

2.3 Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten

Für den Einsatz von mineralischen N-Düngemitteln wurde eine Teilbilanzierung der THG unter der Annahme von Emissionen von 9,91 kg CO₂-Äquivalent pro kg N-Dünger durchgeführt [KM18]. Dieser Emissionsfaktor beinhaltet düngedingte Emissionen von N₂O aus dem Boden und THG durch die Herstellung von N-Dünger. Die Vermeidungskosten drücken den wirtschaftlichen Verlust pro Tonne CO₂-Äquivalent aus, der durch den reduzierten Düngemiteleinsatz bestimmt wird.

2.4 Implementierung der N-Düngersteuer

Die wirtschaftlichen und THG-Emissionen relevanten Auswirkungen wurden für eine N-Düngersteuer von 0,20 €/kg N untersucht. Umgerechnet ergibt sich damit auf der Basis des oben angenommenen Emissionskoeffizienten eine CO₂-Steuer von 20 Euro pro t CO₂, was sich am unteren Ende einer zurzeit diskutierten möglichen Bepreisung des CO₂ befindet [Ke19].

3 Ergebnisse und Diskussion

Eine N-Düngersteuer in Höhe von 0,20 €/kg N führte zu einer Düngereduktion bei Winterroggen und Winterraps in Höhe von 6 kg N/ha unabhängig von der Risikoeinstellung. Bei Winterweizen führte sie lediglich bei einer moderat risikoaversen Einstellung zu einer Reduktion der Düngung um 14 kg N/ha (Abb. 1). Aufgrund der Auswirkungen auf die Backqualität führte bei risikoneutralen und stark risikoaversen Landwirten die N-Düngersteuer nicht zu einer reduzierten Düngung. Die Risikoeinstellung führte zu einer stärkeren Düngereduktion als die N-Düngersteuer bei einer Höhe von 0,20 €/kg N. Die berechneten THG-Minderungen sind direkt proportional zur Düngereduktion und liegen bei 59 kg CO₂e/ha bei Winterraps und Winterroggen und bei 139 kg CO₂e/ha bei Winterweizen mit moderater Risikoaversion.

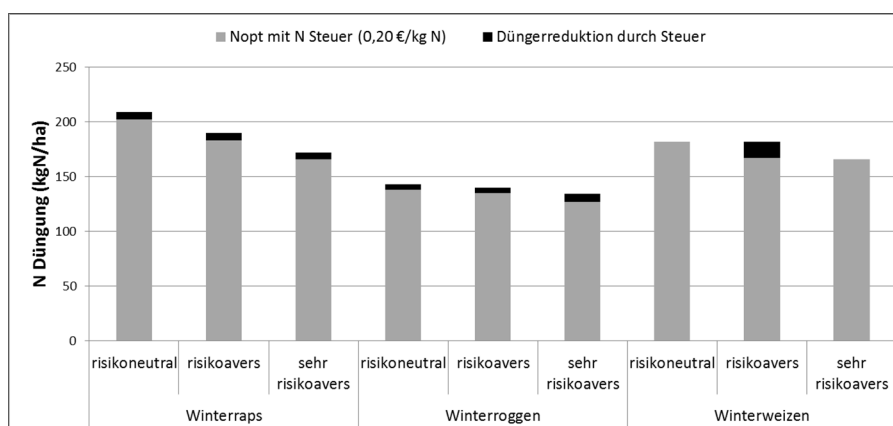


Abb. 1: Effekt einer N-Düngersteuer (0,20 €/kg N) auf optimale N-Düngung in Abhängigkeit von der Risikoeinstellung

Die Einkommenseinbußen für Landwirte durch eine N-Düngersteuer sind in erster Linie durch die steuerliche Abgabe bedingt (Tab. 1). Die Opportunitätskosten aufgrund niedrigerer N-Düngung und damit niedrigerer Erträge lagen zwischen 0,50 und 4,80 €/ha. Auf der Basis der THG-Vermeidung durch die verminderte N-Düngung ergeben sich THG-Vermeidungskosten zwischen 8,91 und 21,- €/t CO₂ (Tab. 1). Damit liegen die THG-Vermeidungskosten im unteren Bereich der von [Sm08] ausgewiesenen THG-Vermeidungskosten. Die steuerliche Belastung von 25,- bis 40,- €/ha ist vergleichsweise hoch. Da das Ziel einer N-Besteuerung in der Reduktion der N-Düngung und nicht im Einkommenstransfer liegt, müssten hier Mechanismen einer Umverteilung oder Rückübertragung angedacht werden, um den landwirtschaftlichen Sektor nicht in starkem Umfang zu belasten. Ein solches System ist mit Transaktionskosten verbunden, die in eine Berechnung von THG-Vermeidungskosten in einem weiteren Schritt berücksichtigt werden müssten.

Die Modellergebnisse zeigen eine differenzierte Wirkung einer N-Düngersteuer, je nach Kultur und in Abhängigkeit der Risikoeinstellung der Landwirte. Insbesondere bei Winterweizen wurde eine begrenzte Wirksamkeit einer N-Düngersteuer bei Weizen aufgrund qualitätsbedingter Prämien gefunden. Eine N-Düngersteuer würde über den Effekt auf die optimale spezielle Intensität sicher auch Auswirkungen auf den Anbauumfang verschiedener Kulturpflanzen haben, da diese in unterschiedlichem Maße betroffen sind. Hier ergibt sich weiterer Forschungsbedarf.

Kulturart	Risiko- einstellung	Einkommens- einbußen durch N Steuer	davon Steuer	THG- Vermeidungs- kosten (ohne Steuer)
Winterraps		€/ha	€/ha	€/t CO ₂ e
	risikoneutral	41,02	40,40	8,97
	riskoavers	37,29	36,60	9,93
	sehr risikoavers	33,83	33,20	10,54
Winterroggen				
	risikoneutral	28,08	27,60	9,60 €
	riskoavers	27,51	27,00	10,25 €
	sehr risikoavers	26,08	25,40	9,85 €
Winterweizen				
	risikoneutral	36,40	36,40	-
	riskoavers	38,19	33,40	21,00 €
	sehr risikoavers	33,20	33,20	-

Tab. 1: Einkommenseinbußen, Steuer und THG-Vermeidungskosten bei einer N-Düngersteuer von 0,20 €/kg N

4 Schlussfolgerungen

Eine N-Düngersteuer könnte THG-Emissionen mindern, indem sie den Einsatz von N-Dünger zu THG-Vermeidungskosten weit unter 100 €/t CO₂ reduziert. Bei der Effizienzbewertung der N-Düngersteuer auf die THG-Minderung sollte neben den eher niedrigen THG-Vermeidungskosten oft auch das begrenzte THG-Vermeidungspotenzial berücksichtigt werden. Je nach Kulturart ist eine Steuer ggf. nicht wirksam. Es muss weiter untersucht werden, wie das gesammelte Steuereinkommen verwendet werden könnte, d.h. an Landwirte, die weniger N-Dünger verwenden, oder wie die Steuer so angewendet werden könnte, dass nicht (nur) die Landwirte die Opportunitätskosten tragen, die sich aus der Umsetzung einer N-Düngersteuer ergeben. Vor diesem

Hintergrund sind natürlich auch Transaktions- und Verwaltungskosten sowie möglicherweise auftretende Verzerrungen im Anbauspektrum der Landwirte zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

- [Ba19] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Available at. <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>.
- [BP08] Brentrup, F.; Pallière, C.: Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions in European Nitrogen Fertilizer Production and Use; Reproduced and updated by kind permission of the International Fertiliser Society [www.fertilisersociety.org] from its Proceedings 639 (2008); International Fertiliser Society: Colchester, UK, 2008.
- [FBS12] Fishman, Y.; Becker, N; Shechter, M.: The Polluter Pays Principle as a policy tool in an externality model for nitrogen fertilizer pollution. *Water Policy* 14(3), pp. 470-489, 2012.
- [Fi12] Finger, R.: Nitrogen use and the effects of nitrogen taxation under consideration of production and price risks. *Agricultural Systems* 107, pp. 13-20, 2012.
- [Ke19] Kemfert, C. et al.: CO₂-Steuer oder Ausweitung des Emissionshandels: Wie sich die Klimaziele besser erreichen lassen, DIW aktuell, No. 20, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, 2019.
- [KM18] Karatay, Y. N., Meyer-Aurich, A.: A Model Approach for Yield-Zone-Specific Cost Estimation of Greenhouse Gas Mitigation by Nitrogen Fertilizer Reduction. *Sustainability* 10(3), 710, 2018.
- [Ka19] Karatay, Y. N. et al.: Kosteneffiziente Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch Düngereduktion: standortspezifische Analyse mit simulierten Ertragsfunktionen. 39. GI Lecture Notes in Informatics 117, 107-112, 2019.
- [La17] Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft, Potsdam.
- [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.
- [Mo13] Monjardino, M. et al.: Are farmers in low rainfall cropping regions under-fertilising with nitrogen? A risk analysis. *Agricultural Systems* 116, 37-51, 2013.
- [OE19] OECD: Enhancing Climate Change Mitigation through Agriculture, OECD Publishing, Paris, 2019.
- [Sm08] Smith, P.; et al.: Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 789-813, 2008.
- [UN18] United Nations Framework Convention on Climate Change: National Inventory Submission 2018, Germany.

Validierung eines Objektlokalisierungs-Algorithmus zur Detektion von Rundballenmodellen

Untersuchung von realistischen Anlieferungs- und Lagerszenarien

Florian Kitzler¹, Lukas Rapberger¹, Andreas Gronauer¹ und Norbert Barta¹

Abstract: Im Zuge der Digitalisierung nimmt der Automatisierungsgrad in der Landwirtschaft stark zu. Die automatisierte Handhabung von Biomasse wie z. B. Rundballen aus Heu oder Stroh benötigt Messsysteme, die in der Lage sind, die Pose von Objekten präzise zu erkennen. Dazu eignen sich Laserscanner, mit deren Hilfe eine 3D-Punktwolke der Umgebung generiert und mit Algorithmen ausgewertet werden kann. Zur Evaluierung eines Objektlokalisierungs-Algorithmus zur Detektion von Rundballen wurden realistische Anliefer- und Lagerszenarien erstellt und mithilfe eines Laborprüfstands gescannt und ausgewertet. Durch Vergleich der Sollpose (Referenzmessung anhand eines Koordinatengitters) mit der Istpose (gemessene Pose) der Objekte konnte eine Genauigkeit von durchschnittlich 27 mm in der Position und eine maximale Winkelabweichung von 2,6° festgestellt werden. Dabei liegen 88 % aller gemessenen Objekte innerhalb der geforderten Genauigkeit von 42 mm, die garantieren soll, dass die Objekte mit einer handelsüblichen Ballenzange im realen Setting gegriffen werden können.

Keywords: Automatisierung, Laserscanner, Maschinelles Sehen, 3D-Objekterkennung

1 Einleitung

Die Automatisierung in der Landwirtschaft zielt darauf ab, einzelne Aufgaben der landwirtschaftlichen Prozesskette von Maschinen durchführen zu lassen. Dafür benötigt man Messsysteme zum Überwachen der Umgebung und zur Erkennung und Lokalisierung von Objekten. Üblich sind Laserscanner, die den Abstand zu Objekten in einer Scanebene mittels Time-of-Flight-Verfahren ermitteln. Durch Veränderung der Scannerposition kann damit ebenfalls eine 3D-Information erhalten werden und mit Methoden und Algorithmen der Computer Vision bzw. des Maschinellen Sehens [SUW16] ausgewertet werden. Beispiele für die Anwendung solcher Messsysteme in landwirtschaftlichen Prozessen sind die Detektion von Broccoli für die Ernte [Ku16], die Lokalisierung von Bäumen für die Navigation von mobilen Robotereinheiten in Obstgärten [Un15], die Erkennung von Unkrautvegetation in Maisfeldern [An13] sowie Vorarbeiten für die Bestimmung der Pose von Rundballen [As18].

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landtechnik, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien,
florian.kitzler@boku.ac.at, lukas.rapberger@students.boku.ac.at, andreas.gronauer@boku.ac.at,
norbert.barta@boku.ac.at

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob eine automatisierte Erkennung von Biomasse (Rundballen aus Heu oder Stroh) mithilfe eines bewegten 2D-Laserscanners und darauf aufbauendem Objektlokalisierungs-Algorithmus möglich ist und zur Lagerverwaltung mithilfe einer fahrerlosen Ballengreifanlage dienen kann. Dafür wurden die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit der Detektion evaluiert. Zusätzlich wurde überprüft, ob eine im Algorithmus enthaltene Bewertung der Lokalisierung dazu verwendet werden kann, eine Entnahmereihenfolge festzulegen. Aus diesen Fragestellungen wurden realistische Anliefer- und Lagerszenarien erstellt und in einem Laborprüfstand mit Rundballenmodellen getestet.

2 Material und Methode

2.1 Laborprüfstand

Die zugrunde liegenden Daten werden mithilfe eines 2D-Laserscanners des Typs LMS111 (SICK AG, Waldkirch, Deutschland) aufgezeichnet, der in einer bestimmten Höhe über der Szene bewegt wird. Die Versuche wurden in einem Laborprüfstand am Institut für Landtechnik in Wien durchgeführt. An diesem Prüfstand wird der Laserscanner entlang einer linearen Achse (Y-Achse in Abb. 1) in einer Höhe von 2,88 m über eine Länge von 2,2 m bewegt und scannt dabei Schicht für Schicht die darunterliegenden Objekte. Mithilfe eines Messrad-Encoders des Typs DFV60 (SICK AG, Waldkirch, Deutschland) wird die Position entlang der Bewegungsachse im Datentelegramm des Scanners gespeichert. Das Datentelegramm enthält neben dem Encoderwert auch bestimmte Statuscodes und Zeitstempel sowie die Distanzmesswerte und Remissionswerte zu jedem Winkelindex. Der verwendete Laserscanner liefert Distanzmesswerte in mm in einer Scanebene mit einem Öffnungswinkel von 270° , einer Winkelauflösung von $0,5^\circ$ und einer Scanfrequenz von 50 Hz. Der Remissionswert eines Winkelindex gibt den Anteil des am Detektor gemessenen vom ausgesendeten Infrarotlichtimpuls an. Dieser hängt stark vom Winkel, in dem der Infrarotlichtimpuls auf die Oberfläche des Objekts trifft, und vom Material der Oberfläche ab.

Als Referenzwerte für die Objektlokalisierung (Sollpose) dient ein am Boden aufgezeichnetes Koordinatengitter, auf dem die Versuchsobjekte platziert werden. Zur Umrechnung der Distanzmesswerte des Scanners in ein kartesisches Referenzkoordinatensystem des Laborprüfstands wird die Position und Orientierung des Scanners in diesem (System) benötigt. Dies erfolgt über Feintripelreflektoren vom Typ P25F-1 (SICK AG, Waldkirch, Deutschland), die vom Scanner durch erhöhte Remissionswerte einfach zu lokalisieren sind. Anhand der bekannten und der vom Scanner vermessenen Positionen der Reflektoren wird vor den Messungen eine Kalibrierung vorgenommen und die Kalibrierdaten in Form einer Transformationsmatrix hinterlegt. Anhand der Transformationsmatrix werden die lokalen Scannerkoordinaten in Referenzkoordinaten umgerechnet und als 3D-Punktwolke abgespeichert.

Scanebene in Laborprüfstand mit untersuchten Mehrobjektszenarien

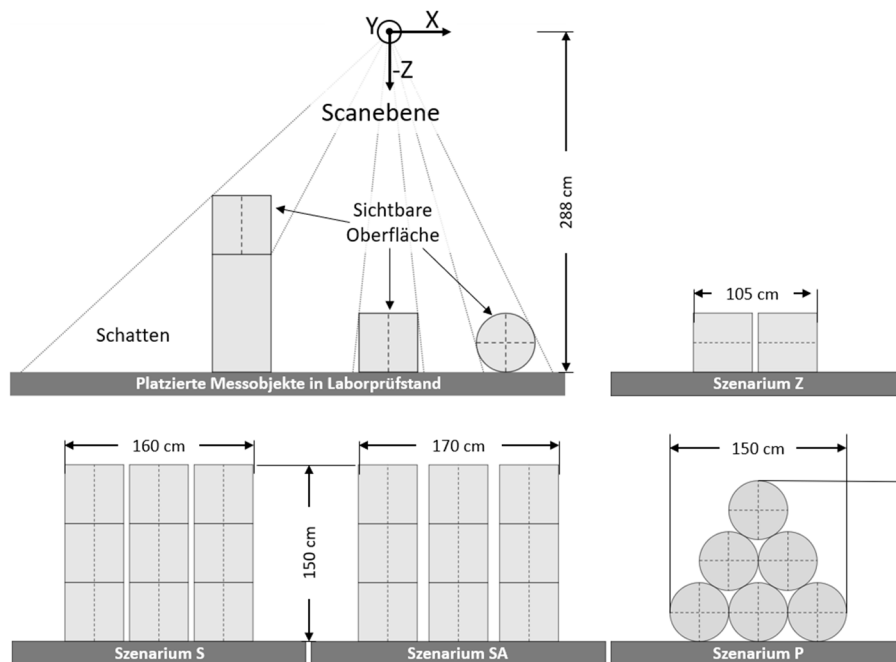


Abb. 1: Scanebene des Prüfstands mit Scanner im Koordinatenursprung, Darstellung der Szenarien
Zweiobjktmessung **Z**, Stapel mit unterschiedlichen Abständen **S** bzw. **SA** und Pyramide **P**

2.2 Software

Das Programm **HalObjectMatching** zur Detektion von Rundballen in 3D-Punktwolken wurde in der Programmiersprache C++ in der plattformunabhängigen, integrierten Entwicklerumgebung Qt Creator entwickelt. Neben der C++-Standardbibliothek wurde das Qt GUI Toolkit zum Erstellen einer graphischen Benutzeroberfläche verwendet. Den Kern des Objektlokalisierungs-Algorithmus bildet der sogenannte Surface-Based 3D Matching-Algorithmus [SUW16] der Programmbibliothek **HALCON** (MVTec Software GmbH, München, Deutschland).

Die Bedienung des Programms **HalObjectMatching** verläuft in folgenden Schritten. Zuerst wird eine 3D-Punktwolke der Szene im Programm geladen. Dann werden die Parameter der Referenzkörper (Rundballen oder Quaderballen, Ausmaße) eingestellt und angegeben, wie viele Objekte sich maximal in der Szene befinden. Es kann außerdem ein Region-of-Interest angegeben werden, um die Objektlokalisierung auf einen bestimmten Bereich einzuschränken und damit zu beschleunigen. Danach kann über einen Button der Objektlokalisierungs-Algorithmus gestartet werden. Jeder gefundene

Rundballen wird anhand seiner Pose (3 Werte für Position, 3 Werte für Orientierung) und einer Bewertung der Lokalisierung (Wert zwischen 0 und 1) beschrieben. Aufgrund von Verschattungen, die bei dem gewählten Aufnahmeverfahren vorkommen, hängt der Wert der maximal beobachtbaren Oberfläche von der Pose des Rundballen ab, siehe Abbildung 1 (oben links). Zur visuellen Überprüfung kann das Ergebnis auch grafisch in Form einer 3D-Punktwolke und farblich markierten Rundballen dargestellt werden.

2.3 Versuchsreihe

Es wurde eine Versuchsreihe mit realistischen Szenarien für die Anlieferung und Lagerung von Rundballen durchgeführt. Als Versuchsobjekte wurden Zylindermodelle im Maßstab von 1:2,4 (50 cm Durchmesser, 50 cm Höhe) aus handelsüblichen Styroporplatten angefertigt. Die Versuchsreihe umfasst insgesamt 99 Messungen bei denen Ballenmodelle in allen möglichen Lagen (liegend und stehend) und verschiedenen Konstellationen (Einzelobjektmessung **E**, Zweiobjektmessung **Z**, Stapel **S** mit 5 cm Abstand, Stapel **SA** mit 10 cm Abstand, Pyramide **P**) gescannt wurden. Als hinreichende Genauigkeit für den nachgelagerten Greifvorgang wird als Ziel eine maximale Positionsabweichung des Schwerpunktes von 100 mm vorausgesetzt. Dieser Wert stellt sicher, dass ein handelsüblicher Greifer mit einer maximalen Öffnungsweite von etwa 1,9 m einen Rundballen mit 1,2 m Durchmesser greifen kann. Mit dem Skalierungsfaktor von 2,4 wird für das Laborsetting somit eine maximale Positionsabweichung von 42 mm gefordert. Zusätzlich wird eine Winkelabweichung der Rotationsachse des Rundballens angegeben. Die Eignung der bei der Objektlokalisierung ermittelten Bewertung für die Entnahmereihenfolge wurde durch ein Simulieren dieser Situation überprüft. Dazu wurde eine komplexe Szene mit mehreren Ballen in Stapeln gescannt und anschließend der Ballen mit der höchsten Bewertung aus der Szene entfernt und dieser Vorgang wiederholt.

3 Ergebnisse

Im Laborsetting wurde eine Genauigkeit von durchschnittlich 27 mm absoluter Abweichung zwischen tatsächlicher und gemessener Position und eine Winkelabweichung von durchschnittlich $0,75^\circ$ festgestellt. Dabei liegen 88 % der Positionsdaten im Zielbereich und alle Winkelabweichungen unter $2,6^\circ$.

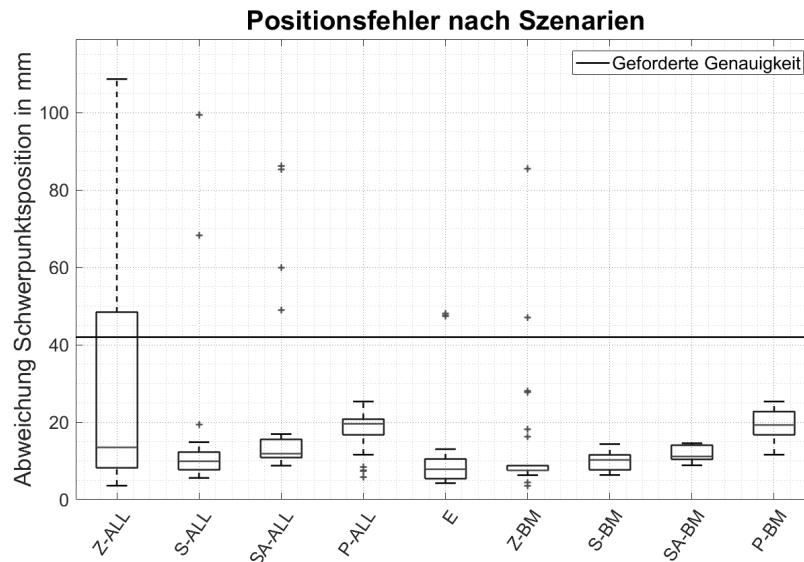


Abb. 2: Boxplots der Positionsfehler für die Szenarien Einzelobjektmessung **E**, Zweiobjektmessung **Z**, Stapel **S** mit 5 cm Abstand, Stapel **SA** mit 10 cm Abstand und Pyramide **P**, Unterscheidung zwischen alle gefundenen Objekte **-ALL** und Best Match **-BM**

Eine genauere Auswertung der Daten nach unterschiedlichen Szenarien ist in den Boxplots in Abbildung 2 dargestellt. Hier wurden die Ergebnisse für alle gefundenen Objekte einer Messung (**-ALL**) sowie für das Objekt mit bester Bewertung (**-BM**) abgebildet. Die außerhalb des Zielbereichs liegenden Daten sind zu 8 % auf Fehldetektionen (kein realer Ballen in der Nähe) und zu 79 % auf Schwierigkeiten bei der Differenzierung zwischen mehreren Ballen zurückzuführen. Letztere treten vermehrt bei den Zweiobjektmessungen **Z-ALL** und **Z-BM** und bei Objekten mit niedriger Bewertung der Stapelmessungen **S-ALL** und **SA-ALL**, also bei den Rundballen der unteren Ebenen, auf. Die Fehldetektionen weisen Abweichungen von bis zu 800 mm bei sehr niedriger Bewertung auf und treten ausschließlich bei den Stapeln auf. Sie sind in den Boxplots zur besseren Übersichtlichkeit nicht enthalten. Die restlichen 13 % werden durch Ungenauigkeiten bei der Objektlokalisierung oder Messfehler hervorgerufen. Ein Szenarium, bei dem die Lokalisierung Schwierigkeiten bei der Differenzierung zwischen zwei Ballen bekommt, kann Probleme verursachen. So kann es dazu kommen, dass zwei Ballen gleichzeitig gegriffen und somit verloren gehen oder zerstört werden.

Beim Simulieren der Entnahmereihenfolge auf Basis der Detektionsqualität zeigte sich eine grundsätzlich gute Eignung dieser Vorgangsweise und es wurden jeweils nur Ballen ausgewählt, die für einen Greifvorgang frei zugänglich sind. Bei der Entnahmereihenfolge wird jedoch nicht grundsätzlich ein höherstehender Ballen bevorzugt, was zur Instabilität der restlichen Stapelstruktur führen kann. Aus diesem Grund ist die Bewertung der Detektionsqualität als einzige Grundlage zur Ballenauswahl

nicht ausreichend und sollte um eine Höheninformation und eventuell weitere Kriterien ergänzt werden.

4 Diskussion und Ausblick

Unsere Ergebnisse legen eine gute Eignung des Objektlokalisierungs-Algorithmus für die automatisierte Rundballenerkennung nahe. Dabei gibt es, wie in Abbildung 2 ersichtlich, deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Lagerszenarien. Bei den Zweiobjektmessungen kommt es vermehrt zu Problemen bei der Differenzierung zwischen unterschiedlichen Ballen. Um dieses Problem in der Praxis zu umgehen, kann das Messsystem angepasst werden, um einen größeren Anteil der Objektoberfläche abzubilden. Die Bewertung kann zusätzlich mit einer Höheninformation zu einer besseren Auswahl des nächsten zu entnehmenden Rundballen eingesetzt werden, um Probleme mit instabilen Stapeln zu verhindern. Die Gründe für die Fehldetektionen müssen noch weiter untersucht werden, um eine stabile Erkennung im Einsatz zu erreichen. Weitere Herausforderungen für eine Praxisanwendung liegen im Umgang mit Größenabweichungen sowie verformten bzw. unvollständigen Heuballen und den unstrukturierteren Oberflächeneigenschaften von realen Heuballen.

Danksagung: Diese Arbeit wurde von der Firma LASCO Heutechnik GmbH finanziert und durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG im Rahmen des Basisprogramms gefördert.

Literaturverzeichnis

- [SUW16] Steger, C.; Ulrich, M.; Wiedemann, C: Machine Vision Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, Weinheim, S. 313-321, 2016.
- [Ku16] Kusumam, K.; Krajník, T.; Pearson, S.; Cielniak, G.; Duckett, T.: Can You Pick a Broccoli? 3D-Vision Based Detection and Localisation of Broccoli Heads in the Field. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), S. 646-651, 2016.
- [Un15] Underwood, J. P., Jagbrant, G., Nieto, J. I. and Sukkarieh, S.: Lidar-Based Tree Recognition and Platform Localization in Orchards. J. Field Robotics, 32: 1056-1074. doi:10.1002/rob.21607, 2015.
- [An13] Andújar, D.; Escolà A.; Rosell-Polo, A. E.; Fernández-Quintanilla, C.; Dorado, J.: Potential of terrestrial LiDAR-based system to characterise weed vegetation in maize crops. Computer and Electronics in Agriculture, 92: S. 11-15, 2013.
- [As18] Aschauer, C.; Szügyi, D.; Landrichinger, J; Bruckner, L.; Bauer, H.; Gronauer, A.: Bestimmung der Pose von Rundballen mit einem LIDAR und 3D-Objektlokalisierungsalgorithmus. In: Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Borchard, K., Hofacker, C., Loy, J.-P., Schwerdtfeger, R., Sundermeier, H.-H. F. & Theuvsen, B. (Hrsg.), 38. GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. (S. 27-30), 2018.

Datenaufbereitung in der Landwirtschaft durch automatisierte semantische Annotation

Basis für vielfältige Smarte Dienste

Julian Klose¹, Markus Schröder², Silke Becker¹, Ansgar Bernardi²
und Arno Ruckelshausen¹

Abstract: Die moderne Landtechnik und zunehmende Digitalisierung landwirtschaftlicher Prozesse liefern vielfältige Daten. Deren effiziente und nutzbringende Verwendung leidet jedoch unter berechtigten Sorgen um Datenhoheit und -kontrolle, Formatbrüchen und unterschiedlichsten Interpretationen. Als Lösungsvorschlag präsentieren wir die sog. Wikinormia, eine kollaborative Plattform, in der interessierte Teilnehmer eigene, neue Datenformate beschreiben und diskutieren können. Sobald ein finalisiertes Vokabular erstellt ist, können spezifische Parser die Rohdaten in drei grundsätzliche Repräsentationen semantisch aufbereiten: Geo-Informationen, Zeitreihen und semantische Fakten (landwirtschaftlicher Wissensgraph). Dank der öffentlich zugänglichen Definitionen und Beschreibungen gewinnen Entwickler leicht Überblick über die für sie relevanten Konzepte. Vielfältige Dienste werden dann (vorbehaltlich individueller Zugriffsrechte) ihre Daten einfach über eine Query-Schnittstelle abfragen und Ergebnisse zurückspielen können. Diesen Lösungsvorschlag haben wir bereits in einem Prototyp im Projekt SDSD (Smarte Daten – Smarte Dienste) umgesetzt. Wir demonstrieren den Nutzen mit einer Reihe von repräsentativen Diensten aus der Landwirtschaft. Damit steht ein effizientes System zur kooperativen, flexiblen Digitalisierung landwirtschaftlicher Arbeitsabläufe zur Verfügung.

Keywords: Datenformate, Datenplattform, Datenverfügbarkeit

1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist mit stetig wachsenden Anforderungen wie Dokumentation, Rückverfolgbarkeit, Prozessoptimierung und ressourcenschonendes Arbeiten konfrontiert. Zeitgleich findet eine stete Entwicklung der quantitativen und qualitativen Leistungsfähigkeit von Landmaschinen statt und führt zu einer steigenden Verfügbarkeit von Daten, die i.d.R. hersteller- bzw. maschinenspezifisch abgebildet sind. Der herstellerübergreifende Datenaustausch und die korrekte Interpretation und Nutzung der verschiedenen Datenformate und Inhalte stellen den Landwirt vor große Herausforderungen – gerade auch angesichts der dynamischen Weiterentwicklung.

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät IuI, Sedanstraße 26, 49076 Osnabrück, julian.klose@hs-osnabrueck.de; s.becker.1@hs-osnabrueck.de; a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

² Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Trippstadter Straße 122, 67663 Kaiserslautern, markus.schroeder@dfki.de; ansgar.bernardi@dfki.de

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben wir im Forschungsprojekt *Smarte Daten – Smarte Dienste (SDSD)* ein System entwickelt, das landwirtschaftlich angereicherte Prozessdaten mit intelligenten Diensten verbindet. Unser Ansatz speichert dafür Informationen aus verschiedenen landwirtschaftlichen Quellen eines Landwirts. Durch das Aufstellen von Speicher- und Zugriffsregeln behält der Nutzer die Datenhoheit und Datenkontrolle.

Eine große Herausforderung liegt in der Erkennung und Interpretation der unterschiedlichen Datenformate und -inhalte. Standardisierung dauert oft zu lange, um sich dynamisch auf neue Anforderungen einzustellen. Hierfür bietet SDSD eine Plattform zum kollaborativen Beschreiben von Datenformaten an, die wir *Wikinormia* nennen. Durch diese offene Plattform erreichen wir eine hohe Erweiterbarkeit, die mit der laufenden Entwicklung neuer Datenformate Schritt hält. Der Einsatz von *Semantic Web Standards* macht die Verlinkung der modellierten Informationen zu einem Wissensgraphen als *Smarte Daten* möglich.

Neben der Datenaufbereitung ist SDSD auch eine Plattform zur Bereitstellung von Diensten, die aus den *Smarten Daten* Mehrwerte erzeugen, wie z. B. automatisierte Dokumentation, Berechnungen und Applikationshilfen, oder langfristige Auswertungen. Dienste können aus den verknüpften Daten gezielt die benötigten Informationen abrufen, ohne mit den unterschiedlichen Formaten der Rohdaten in Berührung zu kommen. Dieses System aus der Bereitstellung von *Smarten Daten* für *Smarte Dienste* zeigt erste Erfolge für eine nutzbringende Digitalisierung landwirtschaftlicher Prozesse.

2 Stand der Forschung

In diesem Gebiet gibt es bereits Teillösungen und verwandte Forschungsprojekte. Industrielle Lösungen wie *MyJohnDeere* [My19] und *365FarmNet* [Di19] sind Plattformen zur Übermittlung und Speicherung von Maschinendaten und Auftragsdaten. Diese Plattformen sind allerdings rein proprietär nur mit den jeweiligen eigenen Maschinen kompatibel. Bei dem diversen Einsatz von Maschinen unterschiedlicher Hersteller ist ein herstellerübergreifendes System unumgänglich.

Der *agrirouter* [DK19] von DKE bietet eine offene Datenübertragungsplattform, wodurch es möglich ist, Auftragsdaten und Echtzeit-Telemetrie-Daten von den Maschinen an angeschlossene Applikationen zu übertragen bzw. Daten an die Maschinen zu senden. Die Datenpakete werden aber vom *agrirouter* nicht geöffnet und bleiben auch nur zu Übertragungszwecken kurzfristig gespeichert. Mit der DKE als Partner in SDSD haben wir erfolgreich den *agrirouter* genutzt, um die Kommunikation zu und vom SDSD System zu vereinfachen.

Andere Forschungsprojekte, wie *GeoBox* [GE19], *ODiL* [OD16] und *OPeRate* [OP19] arbeiten an ähnlichen Themen zur landwirtschaftlichen Datenhaltung und Bereitstellung.

SDSD unterscheidet sich von diesen Projekten unter anderem durch die offene erweiterbare Formatbeschreibung mittels Wikinormia. Des Weiteren kooperiert SDSD zusammen mit dem kürzlich gestarteten ATLAS-Projekt [AT19].

3 Ansatz und Demo

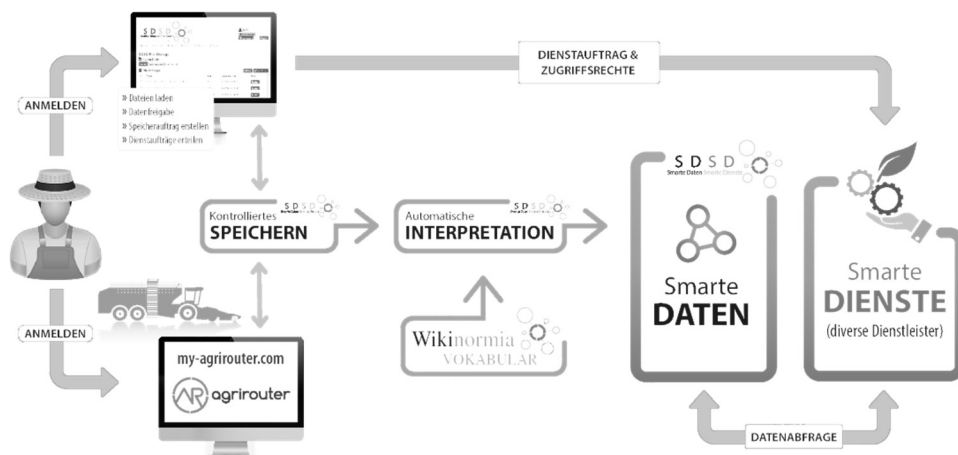


Abb. 1: Übersicht der SDSD Komponenten: Über agrirouter oder unser Webinterface ist ein kontrolliertes Speichern von Daten möglich, die durch Wikinormia Vokabular automatisch zu Smarten Daten interpretiert werden. Smarte Dienste fragen die aufbereiteten Daten ab

Unser Hauptansatz ist die Erzeugung von Smarten Daten sowie deren Bereitstellung für Smarte Dienste. Um die eingegangenen Rohdaten in Smarte Daten umzuwandeln, muss zunächst das Format beschrieben werden. Hierzu bietet SDSD die Wikinormia als Wiki-ähnliche Plattform: Ein Format wird hierbei durch das Resource Description Framework [RD14] (RDF) in Form eines Graphen definiert. Diese Definition sollte durch die Datenprovider erfolgen. Bei öffentlichen zugänglichen Formaten kann das auch von Dienste-Entwicklern übernommen werden. Damit möchten wir keine Standardisierung ersetzen, sondern ausschließlich den Entwicklungsprozess deutlich beschleunigen. In unserer prototypischen Wikinormia wurden bereits das weit verbreitete ISOXML [AE15], aber auch spezifischere Datenformate wie NRW Agrarantragsdaten (siehe Abb. 2), beschrieben.

Teilschlag NRW

Teilschlag aus einem NRW Flächenantrag (ELAN).

Identifizier	Part of
teilschlag	Flächenantrag NRW (antragNRW)
Format	Subclass of
Flächenantrag NRW (antragNRW)	Field (field)
Name	Type
Year of application (antragsjahr)	Integer

Abb. 2: Auszug aus Wikinormia-Eintrag für NRW Agrarantrag

Beim Einfügen eines neuen Datenformats in der Wikinormia muss zusätzlich ein Parser übergeben werden, der das Datenformat aus den Rohdaten auslesen kann. Dies ist wegen der Vielzahl möglicher Übertragungsformate (z. B. JSON, XML, Binär) nötig. In ausgewählten Fällen könnte basierend auf der Wikinormia-Beschreibung ein Parser automatisch generiert werden.

SDSD unterscheidet zwischen drei Datenmodellen und nutzt hierfür spezialisierte Datenbanken (Polyglotter Speicher [FS12]):

1. Geodaten umfassen positionierte Geometrien, wie Fahrspuren oder Feldgrenzen. Sie werden in einer MongoDB [Mo19] mit raumbezogener Indexierung abgelegt. Dies ermöglicht die Suche nach Überschneidungen oder Elementen in räumlicher Nähe.
2. Zeitreihen enthalten zeit- und positionsbezogene Sensordaten, wie Maschinendrehzahlen oder spezifische Ausbringmengen. Sie werden aufgrund ihrer Menge in einer Cassandra Datenbank [Ap19] gespeichert, die für das Ablegen großer Tabellen mit unterschiedlichen Spalten optimiert ist.
3. Semantische Graphen enthalten verknüpfte Informationen, wie Maschinenbeschreibungen oder Aufträge. Sie werden in einem Stardog Triplestore [St19] abgelegt. Dadurch können Beziehungen zwischen Informationen strukturiert abgefragt werden, wie beispielsweise „Alle Aufträge, in denen eine Sämaschine genutzt wurde“.

Instanzen (Maschinen, Aufträge, Felder, Personen, etc.) bekommen im RDF-Graphen eindeutige Adressen (URIs). Dadurch ist es möglich, Geodaten und Zeitreihen mit den

Instanzen zu verbinden sowie mit der entsprechenden Beschreibung in der Wikinormia zu verknüpfen. Die Verlinkung macht es leicht, Zusatzinformationen direkt an eine Instanz zu annotieren, z. B. Wetterinformationen an ein Feld. Auch die Deduplikation von gleichen Instanzen aus verschiedenen Quellen wird vereinfacht. Wenn beispielsweise ein Feld, welches bereits aus einem Flächenantrag bekannt ist, in einer Auftragsdokumentation (ISOXML TaskData) erneut auftritt, kann das System die beiden Feld-Instanzen mit einer SameAs-Beziehung verlinken. Die Gleichheit basiert hierbei auf den Geodaten.

Die erzeugten Smarten Daten können von Smarten Diensten abgerufen werden. Entwickler von Smarten Diensten müssen sich nicht mehr mit der Integration verschiedener Datenformate oder den Besonderheiten einzelner Datenquellen auseinandersetzen. Über die SDSD-Schnittstelle können ausgewählte Informationen abgerufen werden, die der Dienst benötigt. Dies ermöglicht es auch kleinen Anbietern, kostengünstig ihre Dienste bereitzustellen. Zusätzlich kann der Landwirt genau spezifizieren, auf welche Informationen der Dienst zugreifen darf, und kann damit vertrauliche Daten schützen.

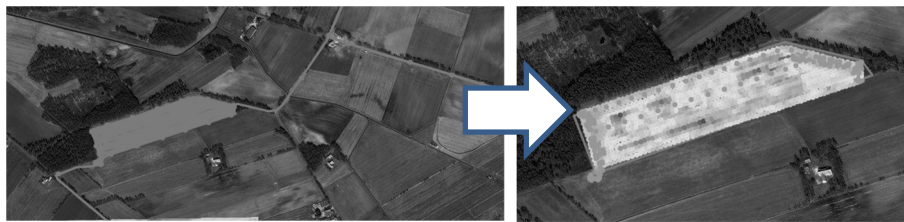


Abb. 3: Zeitreihen-Trennungs-Dienst: links eine zusammenhängende Zeitreihe, rechts ein automatisch separiertes Feld mit einer Ertragskartierung

Der Zeitreihen-Trennungs-Dienst in Abb. 3 löst ein typisches Problem bei aufgezeichneten Maschinendaten: Neben dem eigentlichen Feld sind noch die Straßenfahrten und die Bearbeitung anderer Felder im Auftrag abgebildet. Eine solche Aufzeichnung entsteht, wenn die Aufträge vom Fahrer nicht ordnungsgemäß gestartet und beendet werden. Der Beispieldienst liest solche Daten aus und überlagert sie mit bereits bekannten Feldgrenzen, um die relevanten Informationen zu separieren. Das SDSD-System kombiniert dabei Feld-Informationen aus verschiedenen Quellen und stellt sie zur Abfrage über eine geografische Bereichssuche zur Verfügung. Falls die Felder bisher noch nicht bekannt sind, werden noch Feldgrenzen aus OpenStreetMaps [Ov19] berücksichtigt.

Ein Prototyp steht unter <https://app.sdsd-projekt.de> mit dem Account „sdsd“ und Passwort „sdsd“ zum Testen zur Verfügung.

4 Schluss und Ausblick

Um die Prozesse in der Landwirtschaft zunehmend digital abzubilden, brauchen wir ein gemeinsames Vorgehen aller Beteiligten. SDSD bietet eine Plattform zur Kommunikation zwischen Datenerzeugern, Landwirten und Anbietern von Diensten.

Ein Lösungsansatz für die anstehenden Herausforderungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft kann die oben beschriebene SDSD-Plattform sein. Diese beinhaltet a) die Beschreibung von Datenformaten in der Wikinormia, b) das Auslesen durch Parser, c) die semantische Aufbereitung und d) die kontrollierte Bereitstellung der Informationen für Dienste.

Durch die zielgerichtete Datennutzung und Datenintegration werden kurz- und mittelfristig Bewirtschaftungsstrategien optimiert. Das kann sich positiv auf Prozessketten und Betriebsmitteleinsatz auswirken. Langfristig betrachtet baut sich der Landwirt durch die Verwendung der SDSD-Plattform eine Anbauhistorie auf.

Literaturverzeichnis

- [RD14] RDF Working Group, „Resource Description Framework (RDF)“, 2014.
- [AE15] AEF, „ISO 11783“, 2015.
- [FS12] Fowler, M.; Sadalage, P. J.: „Introduction to Polyglot Persistence“, informIT, 2012.
- [My19] MyJohnDeere Anmeldung, <https://myjohndeere.deere.com/>, 01.12.2019.
- [Di19] Digitalisierung der Landwirtschaft 4.0, <https://www.365farmnet.com/de/>, 01.12.2019.
- [DK19] DKE agrirouter | Your Farming Network, <https://my-agrirouter.com/>, 01.12.2019.
- [GE18] GEOBOX - Standardisierung der Geobox-Infrastruktur, <https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publikationen/projekte/projekt/geobox/>, 01.12.2019.
- [OD16] ODIL - Projekte, <https://saat.dfki.de/de/projekte/odil.html>, 01.12.2019.
- [OP19] OPeRAte, <http://operate.edvsz.hs-osnabrueck.de/>, 01.12.2019.
- [AT19] ATLAS Project, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/223982/factsheet/en>, 01.12.2019.
- [Mo19] MongoDB, <https://www.mongodb.com/>, 01.12.2019.
- [Ap19] Apache Cassandra, <https://cassandra.apache.org/>, 01.12.2019.
- [St19] Stardog: The Enterprise Knowledge Graph, <https://www.stardog.com/>, 01.12.2019.
- [Ov19] Overpass API, https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Overpass_API, 01.12.2019.

Einsatz eines Thermografiekamerasystems in der Hochdurchsatz-Phänotypisierung von Getreidefeldversuchen

Philipp Daniel König¹, Hans Peter Maurer², Mario Jenz¹, Kim Möller¹, Jan Neuweiler², Dominik Nieberg¹, Johannes Trini², Tobias Würschum² und Arno Ruckelshausen¹

Abstract: In der Pflanzenzüchtung werden Multisensorsysteme, insbesondere bildgebende Sensorsysteme, bei der Hochdurchsatz-Phänotypisierung von Pflanzen im Feld eingesetzt. Hierdurch können Informationen über den Zustand von Pflanzen nicht-invasiv gesammelt und interpretiert werden, welche bislang nicht zur Verfügung standen. In dieser Arbeit soll das Einsatz- und Nutzenpotenzial von bildgebenden Thermografiekamerasystemen zur Erfassung von Ertragsparametern in Getreidefeldversuchen exemplarisch evaluiert werden. In die Hochdurchsatz-Feldphänotypisierungsplattform „BreedVision“ und deren Sensordaten-Aufnahmesystem, den „BreedVision-DataRecorder“ [Mö16], wurde ein Thermografiekamerasystem integriert. In zwei Messfahrten wurden die Wärmebilder des Pflanzenbestandes von 200 Feldversuchspartellen der Getreideart Triticale erfasst. Verschiedene Methoden zur Berechnung der Parzellentemperatur wurden angewendet und eine Korrelation zwischen der Parzellentemperatur und dem Biomasse- und Kornertrag bei Triticale beobachtet. Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit sich Störgrößen, die bei den Messungen durch wechselhafte Umweltbedingungen auftreten, mit statistischen Methoden minimieren lassen.

Keywords: Multisensorsystem, Thermografiekamera, Hochdurchsatz-Phänotypisierung

1 Einleitung

Bei der Phänotypisierung von Pflanzen im Feld werden immer häufiger Multisensorplattformen zur nicht-invasiven Aufnahme von Pflanzenmerkmalen unter Feldbedingungen eingesetzt. Hierzu zählt z. B. BreedVision, welche unter anderem mit verschiedenen bildgebenden Sensoren bestückt ist [Mö16]. Die Plattform kann im Hochdurchsatz Sensordaten aufnehmen, mit denen Züchter Aussagen über die Resistenz von Pflanzen, beispielsweise gegen Umwelteinflüsse oder Krankheiten, treffen können [Ru14]. Durch diese Sensordaten können nicht nur Aussagen über den Zustand der Pflanzen, sondern auch beispielsweise Vorhersagen über Ertragsparameter des Pflanzenbestandes getroffen werden. Die Biomasse ist hierbei ein wichtiger Ertragsparameter. In Bezug darauf wurden bereits durch das Betrachten der Daten von verschiedenen Sensoren (Sensordatenfusion) gute Korrelationsergebnisse von Sensordaten und Ertragsparametern erzielt, um verlässliche Vorhersagen zu treffen [Ch19]. Mit Wärmebildkameras lassen sich Vorhersagen über die

¹ Hochschule Osnabrück, Labor für Mikro- und Optoelektronik, Sedanstraße 26, 49076 Osnabrück, {Philipp-Daniel.Koenig; Mario.Jenz; K.Moeller; D.Nieberg; A.Ruckelshausen}@hs-osnabrueck.de

² Universität Hohenheim, Landessaatzuchtanstalt, Fruwirthstraße 21, 70599 Stuttgart, {H-P.Maurer; Jan.Neuweiler; Johannes.Trini; Tobias.Wuerschum}@uni-hohenheim.de

Biomasse von Pflanzen erstellen, indem der Bestand in verschiedenen Dünge­stufen beobachtet wird [Gu16].

2 Material und Methoden

Eine Thermografiekamera ist ein Sensorsystem, welches die Oberflächentemperatur auf Basis der abgegebenen Infrarotstrahlung der Messobjekte in einem Bild wiedergibt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Thermografiekamerasystem VarioCAM HD 780 S zusammen mit einem Objektiv mit der Brennweite 15 mm der Firma InfraTec GmbH verwendet, welches für die Messfahrten im Feld in die höhenverstellbare Sensorbox der Multisensorplattform „BreedVision“ eingebaut wurde (Abb. 1A). Durch den Einbau in die höhenverstellbare Sensorbox wird ein konstanter Abstand von ca. 0,4 m zwischen den Pflanzen und der Kamera, unabhängig von der Wuchshöhe der Pflanzen, in einer Versuchsparzelle automatisiert sichergestellt. Der Bildbereich der Thermografiekamera entspricht einem Messbereich mit der Fläche von ca. 0,5 m x 0,4 m auf der Parzellenoberfläche und das Kamerabild hat eine Auflösung von 640 x 480 Pixeln. Während der Messfahrt mit einer Fahrgeschwindigkeit von $v=0,56$ m/s nimmt die Kamera Infrarotbilder der Versuchsparzellen (Abb. 1B) mit einer Frequenz von $f=60$ Bildern/s aus der Vogelperspektive auf. Die Bilder werden im BreedVision System mit Zeit- und Ortsreferenzierung für eine spätere Bestimmung der Temperatur einer Pflanzenparzelle abgelegt.

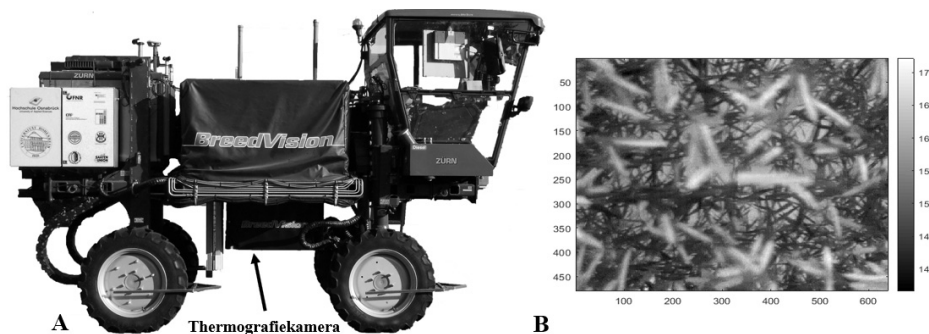


Abb. 1: (A) Multisensorplattform „BreedVision“ mit Einbauort der Thermografiekamera innerhalb der höhenverstellbaren Sensorbox, (B) Wärmebild von einer Pflanzenparzelle (Triticale), aufgenommen mit dem Thermografiekamerasystem aus der Vogelperspektive.

Des Weiteren wurden die Sonneneinstrahlung in Watt/m^2 mit einem Pyranometer der Firma LAMBRECHT auf dem Dach der Multisensorplattform und die Umgebungstemperatur in $^{\circ}\text{C}$ mit Hilfe eines Ultraschallsensorsystem UMSys-01 der Firma iotec GmbH erfasst, in dem sich ein PT-100 Temperaturfühler befindet. Für die Demonstration der Nutzung der Thermografiekamera wurde eine Messfahrt am späten Nachmittag zwischen 16:30 Uhr und 19:30 Uhr am 14.06.2018 auf einem Versuchsfeld der Saaten-

Union Versuchsstation Moosburg ausgewählt. Das Wetter war zu diesem Zeitpunkt meist bewölkt mit kurzen sonnigen Abschnitten. Die Lufttemperatur schwankte zwischen 17,5 °C und 21,0 °C. Die Versuchspartzen bestanden aus 11 Saatzeihen mit einem Reihenabstand von 14 cm und waren 1,8 m breit und 5,8 m lang, was einer Größe von 10,44 m² entspricht. Insgesamt umfasste der Versuch 200 Versuchspartzen der Getreidekulturart Wintertriticale, welche mit der Sensorplattform BreedVision am Messtag zweifach für die Messungen überfahren wurden. Die Triticalepflanzen waren im Entwicklungsstadium der Teigreife der Körner (EC-Stadium = 85). Unmittelbar nach Abschluss der Messfahrten wurden die Versuchspartzen mit einem Biomassehäcksler zur Bestimmung des Gesamtpflanzenbiomasseertrages geerntet. Die 200 Partzen waren aufgeteilt in vier Blöcke mit einer unterschiedlich hohen Stickstoffdüngung im Vegetationsverlauf. Diese Stufen hatten eine Höhe von 40 %, 70 %, 100 % und 130 % relativ zur ortsüblichen N-Düngungsmenge. In jeder Düngungsstufe wurden 25 Triticalegenotypen in einem randomisierten Gitterversuch mit 2 Wiederholungen und einer unvollständigen Blockgröße von 5 Partzen angebaut. Die Daten zum Kornertrag für die 25 Triticalegenotypen wurden in einem Feldversuch mit dem gleichen Versuchsaufbau in unmittelbarer Nähe zum obig beschriebenen Feldversuch für die Gesamtpflanzenbiomasse erhoben.

Bestimmung der Temperatur der Pflanzen in einer Partzele

Basierend auf einem Bild aus der Mitte einer jeden Partzele wurden verschiedene Quantile (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %) und das Mittel der Temperaturwerte des Wärmebildes berechnet. Mit Hilfe von Bildverarbeitung wurden zusätzlich der Median und die mittlere Temperatur der Ähren in einer Partzele berechnet. Zur Korrelation der Pflanzentemperaturen mit den Ertragsparametern (Gesamtpflanzenbiomasseertrag, Kornertrag) wurden zwei verschiedene Methoden erprobt.

Methode 1: Korrelation der Rohdaten der Partzele

Die gemessenen Rohdaten-Temperaturwerte einer Partzele wurden in einem linearen Modell mit Kovariablen für die Berücksichtigung des Umwelteinflusses (fehlend oder Einstrahlungsintensität bzw. Umgebungstemperatur) korreliert.

$$BM = C + T \quad (1)$$

Die Buchstaben bezeichnen folgende Parameter: BM den Gesamtpflanzenbiomasseertrag, C die Kovariable für die Berücksichtigung des Umwelteinflusses (fehlend oder Einstrahlungsintensität bzw. Umgebungstemperatur) und T die Partzellentemperatur. Anschließend wurde die Korrelation zwischen der vorhergesagten und der tatsächlich beobachteten Partzellentemperatur berechnet.

Methode 2: Korrelation der *best linear unbiased estimators* (BLUES)

Für die Berechnung der *best linear unbiased estimators* (BLUES) auf Basis der genotypischen Werte wurden folgende gemischten Modelle verwendet:

$$T = C + G : R + R : B + S + F, \quad (2)$$

$$BM = G : R + R : B, \quad (3)$$

$$KE = G : R + R : B, \quad (4)$$

wobei die Buchstaben folgende Parameter bezeichnen: T die Parzellentemperatur, BM den Biomassertrag, KE den Kornertrag, C die Kovariable für die Berücksichtigung des Umwelteinflusses (fehlend oder E die Einstrahlungsintensität bzw. T_U die Umgebungstemperatur), R den Effekt der Wiederholung, B die unvollständigen Blöcke, S den Effekt der Fahrt und F den Effekt der Überfahrt. Der Doppelpunkt trennt fixe von zufälligen Effekten, wobei die fixen vor dem Doppelpunkt stehen. Das gemischte Modell wurde mit der Software ASReml innerhalb der Statistiksoftware R (3.4.4) berechnet. Wie bei der Rohdatenmethode wurden zur Bewertung der Temperaturdaten die Korrelationen zwischen den BLUEs der Parzellentemperatur und dem Gesamtpflanzenbiomassertrag berechnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Feldversuchspartellen der vier Düngungsstufen wurden in folgender zeitlicher Reihenfolge mit der BreedVision Phänotypisierungsplattform überfahren: N-Düngungsstufe 100 %, 130 %, 70 % und 40 %. Die beiden Überfahrten über eine Parzelle fanden zeitlich unmittelbar hintereinander statt. Während der Überfahrt der N-Düngungsstufen 100 % und 130 % war das Wetter konstant bewölkt. Bei der Überfahrt der N-Düngungsstufen 70 % und 40 % gab es mehrere sonnige Abschnitte, so dass die Umgebungstemperatur und die Einstrahlung während den Fahrten stark variierten (Abb. 2).

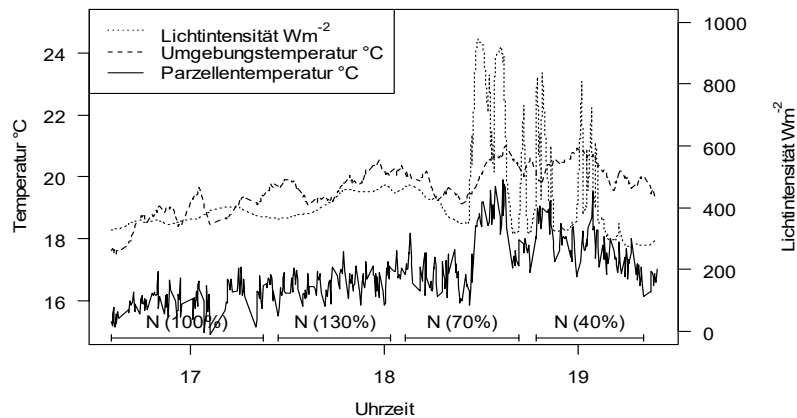


Abb. 1: Verlauf von Parzellen- und Umgebungstemperatur sowie Lichtintensität während der Messfahrten mit BreedVision in den vier Stickstoffdüngungsstufen (40%, 70%, 100%, 130%).

In den Rohwerten der Messdaten wurde eine signifikante negative Korrelation in Höhe von -0,747 bzw. -0,677 zwischen Temperatur und Biomasseertrag für N-Düngungsstufe 100 % bzw. 130 % beobachtet (Tab. 1). Aufgrund der wechselhaften Wetterbedingungen während der Messfahrten für die N-Düngungsstufen 40 % und 70 % sind die beobachteten Korrelationen deutlich geringer und teilweise nicht signifikant. Nach Berücksichtigung der Kovariablen Lichtintensität und Umgebungstemperatur im linearen Modell wurden in allen N-Düngungsstufen signifikante negative und engere Korrelationen zwischen der Parzellentemperatur und dem Biomasseertrag beobachtet. Somit ist eine Berücksichtigung der Kovariablen im Modell immer vorteilhaft, da damit störende Umwelteinflüsse während der Messfahrten ausgeglichen werden können. Bei der Auswertung der BLUEs wurde eine hohe Erblichkeit für das Merkmal Parzellentemperatur beobachtet. Die beobachteten Korrelationen zwischen den genotypischen BLUEs der Parzellentemperatur und dem Biomasseertrag sind hoch und deutlich enger als die berechneten Korrelationen auf Basis der Rohdaten. Aufgrund des gewählten gemischten Modells zur Berechnung der BLUEs mit Berücksichtigung der Messfahrt (S) und der Überfahrt (F) werden auch nach Aufnahme der Kovariablen Lichtintensität und Umgebungstemperatur die beobachteten Korrelationen nicht enger (Daten nicht gezeigt). Die Umweltvariation aufgrund der wechselhaften Wetterbedingungen wird also bereits durch die zufälligen Effekte (S) und (F) hinreichend korrigiert. Die Korrelation zwischen den BLUEs für Parzellentemperatur und Kornertrag ist möglich.

Median der Parzellentemperatur					
	Kovariable	N (40 %)	N (70 %)	N (100 %)	N (130 %)
<i>Rohdaten</i>					
BM	-	-0,365***	-0,158	-0,747***	-0,677***
BM	T _U	-0,457***	-0,265*	-0,793***	-0,690***
BM	E	-0,382***	-0,276*	-0,773***	-0,686***
BM	T _U , E	-0,465***	-0,391**	-0,800***	-0,691***
<i>BLUEs</i>					
BM	-	-0,500*	-0,669***	-0,846***	-0,781***
K	-	-0,625***	-0,621***	-0,783***	-0,615**

Tab. 1: Korrelationen berechnet ohne (-) oder mit Kovariable (T_U=Umgebungstemperatur, E = Einstrahlungsintensität) (i) basierend auf den Rohdaten der Versuchspartellen zwischen den Parzellentemperaturen in den vier Stickstoffdüngungsstufen (N 40 %, N 70 %, N 100 % und N 130 %) und dem Gesamtpflanzenbiomasseertrag und (ii) basierend auf den BLUEs der 25 Wintertriticalegenotypen zwischen den Parzellentemperaturen und den Merkmalen Gesamtpflanzenbiomasseertrag (BM) oder Kornertrag (K). *, **, *** signifikant bei P < 0,05, 0,01, 0,001.

Die Korrelationen zwischen Parzellentemperatur und den beiden Ertragsparametern waren tendenziell mit dem Median und den 40 % bzw. 60 % Quantilen in allen Stickstoffdüngungsstufen am engsten. Die übrigen berechneten Quantile wie auch die Ährentemperaturen ergaben niedrigere Korrelationen.

4 Schlussfolgerungen

Die beobachteten Korrelationen in diesem Entwicklungsstadium der Getreideart Triticale zwischen Parzellentemperatur und Biomasse- bzw. Kornertrag sind sehr vielversprechend und könnten als Hilfsmerkmal in der Pflanzenzüchtung für die Selektion von Genotypen mit höheren Erträgen (Biomasse bzw. Korn) verwendet werden. Jedoch muss in weiteren Experimenten untersucht werden, welche Entwicklungsstadien die besten Korrelationen zu den Zielmerkmalen zeigen. Falls die Parzellentemperatur nur mit einem gewissen zeitlichen Aufwand erfasst werden kann und währenddessen die Umweltbedingungen variabel sind, dann sollte dies im statistischen Modell mit Kovariablen berücksichtigt werden, um die Daten bestmöglich auszuwerten.

Danksagung: Das Forschungsprojekt SENSELGO (FKZ 22008216 und 22024515) wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und der Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovationen e.V. (GFPi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages finanziell gefördert.

Literaturverzeichnis

- [Ch19] Cherednyk I. et. al.: LiDAR- und Lichtschattensensor-basierte Sensordaten-fusion zur feldbasierten Phänotypisierung von Getreide. In GI Edition Proceedings Band 287 Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. 39. GIL-Jahrestagung 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich, S. 37-42, ISBN: 978-3-88579-681-7.
- [Gu16] Guo J. et. al.: Field Crops Research: Evaluation of the grain yield and nitrogen nutrient status of wheat (*Triticum aestivum* L.) using thermal imaging, *Field Crops Research* 196 (2016) 463-472, 2016.
- [Mö16] Möller, K. et. al.: Feldtaugliche Multisensorplattform für High-Throughput Getreidephänotypisierung – Aufbau und Datenhandling, Referate der 36. GIL-Jahrestagung, S. 137-140, ISBN 978-3-88579-647-3.
- [Ru14] Ruckelshausen, A.: Neue Sensorentwicklungen – ein technischer Blick auf Pflanzen, Sensoren und Daten. In *Journal für Kulturpflanzen*, 66(2), Stuttgart, S. 73-79, 2014.

Akzeptanz von integrierten Herdenmanagementprogrammen zum Gesundheitsmonitoring auf rinderhaltenden Betrieben am Beispiel einer Smartphone-Applikation

Miriam Kramer¹, Larissa Verfürth¹, Nicole Tücking¹, Marc Boelhauve¹ und Marcus Mergenthaler¹

Abstract: Smartphone-Applikationen nehmen zur Bündelung und Auswertung der auf einem Milchviehbetrieb anfallenden Daten eine immer wichtigere Rolle ein. Auch in Tiergesundheitsfragen sollen sie eine fundierte Entscheidungsgrundlage darstellen. Je größer der wahrgenommene Nutzen einer neuen Technologie, desto eher sind Personen bereit, diese auch zu übernehmen. Wenn die Gesundheitsfunktionen einer Herdenmanagement-App bei den Usern als nützlich empfunden, aber nicht genutzt werden, stellt sich die Frage, was den wahrgenommenen Nutzen bzw. die wahrgenommene einfache Bedienbarkeit einschränkt. Im Rahmen der vorliegenden Teilstudie im Projekt *Digitale Kuh 3.0* wurde untersucht, warum die Ausstattungsmerkmale zur Tiergesundheit der Herdenmanagement-App *FokusMobil* vom Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen in unterschiedlichen Umfängen genutzt werden. Die qualitative Telefonbefragung der Projektteilnehmenden ergab, dass die Nichtnutzung der Gesundheitsfeatures vor allem im nicht erkannten Mehrnutzen sowie im Umstieg von gewohnten Systemen auf eine neue digitale Variante begründet liegen. Zur Förderung des wahrgenommenen Nutzens der App sollte die Tiergesundheitsdatenerfassung durch die Schaffung von Schnittstellen und managementrelevante Auswertungen ergänzt werden.

Keywords: Herdenmanagementprogramm, Gesundheitsmonitoring, Milchkühe, Mobile Datenerfassung, Tiergesundheitsdaten, Telefoninterview

1 Einleitung

Um dem immer größer werdenden Datenpool gerecht zu werden, der durch wachsende Herden und zunehmenden Dokumentationsaufwand in heutigen Milchviehbetrieben entsteht, nehmen die gezielte Dateneingabe und -aufbereitung wichtige Rollen ein [Zi19]. Smartphone-Applikationen sollen und können dabei durch Zusammenführung und Analyse dieser Daten eine konkrete Arbeitshilfe unter anderem in Tiergesundheitsfragen bieten [Ab17]. Eine aktuelle Untersuchung [MBM19] mit 280 Milchkühhaltenden hat ergeben, dass Funktionen zum Fruchtbarkeitsmanagement, zur Tiergesundheit und zur Datenzusammenführung bei Herdenmanagement-Apps als am nützlichsten bewertet werden. Dies gilt insbesondere bei Befragten, die bereits eine App zur Managementunterstützung einsetzen und dadurch die Vorteile der Gesundheitsfeatures erkannt haben. In einer vo-

¹ Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, 59494 Soest, kramer.miriam@fh-swf.de; verfueth.larissa@fh-swf.de; tuecking.nicole@fh-swf.de; boelhauve.marc@fh-swf.de; mergenthaler.marcus@fh-swf.de

rangegangenen Teilstudie wurde bereits die grundsätzliche Akzeptanz eines Herdenmanagementprogramms auf rinderhaltenden Betrieben anhand des Technologie-Akzeptanzmodells 2 untersucht [Sc18]. Diese Betrachtung ergab, dass vor allem die Determinanten „wahrgenommener Nutzen“ und „wahrgenommene einfache Bedienbarkeit“ die Adoption der Management-Software beeinflussen, weswegen diese Aspekte bei der Weiterentwicklung vornehmlich Berücksichtigung finden sollten. Ziel der vorliegenden Ausarbeitung ist es herauszufinden, welche Hemmnisse bei Usern von Herdenmanagementtools auftreten, die der digitalen Gesundheitsdatenerfassung entgegenstehen, und wie die Dokumentation dieser Daten alternativ erfolgt. Ferner wird erfragt, wie die empfundene Nützlichkeit der Gesundheitsfunktionen verbessert werden könnte. Die Untersuchung wird exemplarisch anhand der Herdenmanagement-App *FokusMobil* des Landeskontrollverbandes Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

2 Methodisches Vorgehen

Für die vorliegende Untersuchung wurden im Herbst 2019 leitfadengestützte, teilstandardisierte Interviews mit 26 Milchviehhaltenden (5 Frauen und 21 Männer) geführt. Die Mitwirkenden arbeiten mit der Smartphone-App *FokusMobil* seit 6 bis 12 Monaten in unterschiedlicher Intensität. Im Rahmen der aktuellen Befragung sollte ermittelt werden, woher diese Nutzungsvarianz vor allem bei den Gesundheitsfunktionen rührt. Um die Betriebe, welche sich über weite Teile Nordrhein-Westfalens verteilen, möglichst zügig und effizient zu befragen, wurde die Methode des Telefoninterviews gewählt. Je nach Gesprächsbereitschaft nahmen diese zwischen 10 und 45 Minuten in Anspruch. Den Besonderheiten eines Telefoninterviews in Bezug auf angepasste Komplexität der Fragenstellungen, Planung von Rahmenanmerkungen vor der eigentlichen Befragung sowie Technikzuverlässigkeit wurde anhand von Literaturempfehlungen und mehrerer Pretests Rechnung getragen [vgl. auch BLM14, Ma09 und Br08]. Der Leitfaden beinhaltet sowohl offene als auch geschlossene Fragen. Die Aussagen aus den offen gestellten Fragen wurden deduktiv anhand von abgeleiteten Antwortmöglichkeiten aus den bisherigen Interviews und aus der Literatur heraus kategorisiert bzw. induktiv aus dem neuen Datenmaterial ergänzt. Die Ergebnisse sollen genutzt werden, um die Wahrnehmung des Nutzens von *FokusMobil* im Bereich der Tierbeobachtungsfeatures bei den Anwendenden zu erhöhen und damit einen Beitrag zur besseren Einschätzung der Herdengesundheit zu leisten.

3 Ergebnisse und Diskussion

Aufgrund der entstandenen Datengrundlage aus den Interviews und vor dem Hintergrund der Forschungsfrage, worin die Unterschiede in der Gesundheitsfeature-Nutzung der App *FokusMobil* begründet liegen, bot sich eine Unterteilung der Befragten in zwei Gruppen an. Zum einen die User, die bereits aktiv einzeltierbezogene Gesundheitsdaten über die App erfassen (häufiger als dreimal in den vergangenen 12 Monaten) und zum anderen

diejenigen, die bisher vornehmlich managementbezogene Eingaben tätigen, wie z. B. Trächtigkeitsuntersuchungsergebnisse oder Eigenbestandsbesamungen. Auch sind hier Anwendende gemeint, die die App lediglich zur Dateneinsicht verwenden. Die erste Gruppe der *Experienced-User* umfasst in dieser Untersuchung 11 Personen, während bei der *Basic-User*-Gruppe 15 Befragte betrachtet werden.

3.1 Tiergesundheitskontrolle und -dokumentation

Bei allen Interviewten wird die Tiergesundheitskontrolle und ggf. auch deren Dokumentation größtenteils durch die betriebsleitende und maximal eine weitere Person erledigt. Dabei handelt es sich meist um ein Familienmitglied. Auf vier Betrieben ist zusätzlich eine Fremd-Arbeitskraft für diese Aufgabe zuständig. Dies qualifiziert Ergebnisse aus demselben Projekt, bei denen die Teilnehmenden zu der Einschätzung kamen, dass das zielführende Management einer Milchviehherde von über 80 Tieren eine umfassende Datenaufzeichnung unabdingbar macht [Sc18]. Auch der Trend zu größeren Beständen in der Milchviehhaltung und die zunehmende Automatisierung bei der Fütterung, Melktechnik und Tierüberwachung werden nach bisherigen Einschätzungen oft zu einem umfangreicheren Einsatz von Herdenmanagementprogrammen führen [vgl. auch WH14].

Bei der Art der Tiergesundheitsdaten-Dokumentation nannten die *Experienced-User* hauptsächlich die Erfassung über die Smartphone-App *FokusMobil*. Bei zwei Nutzenden werden einige Daten zunächst schriftlich im Stall erfasst und später in die App übertragen. Drei Betriebe nutzen neben *FokusMobil* gleichermaßen ein weiteres Herdenmanagementprogramm, eigene Excel-Dateien oder eine manuelle Karteikarte für jede Kuh zur Eintragung der Gesundheitsdaten. Trotz der fortgeschrittenen Nutzung der Gesundheitsfeatures gaben auch in dieser Gruppe vier Befragte an, nicht alle Auffälligkeiten und Beobachtungen zu dokumentieren, sondern lediglich im Kopf zu behalten. Bei den *Basic-Usern* sind meist mehrere Erfassungsmöglichkeiten in Gebrauch. Zwei Drittel dieser Gruppe bevorzugen ein analoges System in mobiler Form, wie selbst erstellte Listen und Notizbücher, oder in stationärer Form, wie Pinnwände oder Karteikarten. Fünf Betriebe arbeiten mit einem anderen Herdenmanagementprogramm. Keine Erfassung der Tiergesundheitsdaten gaben zwei Befragte an. Während die *Experienced-User* die Dokumentation über verschiedene Wege eher als Zwischenlösung sehen bis *FokusMobil* in seinen Funktionen ausgereift ist und zusätzliche praxisrelevante Aspekte aufgenommen werden, sind die *Basic-User* meist mit ihrem System zufrieden oder scheuen Doppelangaben bei der Nutzung mehrerer Programme. Diese Ergebnisse decken sich mit der Befragung aus Schütz et al. (2018), bei der die Befragten für eine aktive, routinemäßige Nutzung des Herdenmanagementprogramms Funktionserweiterungen und Schnittstellen zur Stalltechnik und zu anderen Programmen forderten [Sc18].

3.2 Probleme und Hemmnisse bei der Gesundheitsdateneingabe über *FokusMobil*

Probleme bei der Dateneingabe über *FokusMobil* wurden in beiden Gruppen selten genannt. Eine Person aus der *Experienced-User*-Gruppe und zwei aus der *Basic-User*-Gruppe gaben an, eine Funktion in der App nicht (gleich) gefunden zu haben. Ein weiterer *Experienced-User* merkte Nutzungsschwierigkeiten durch mangelnden Internetempfang im Stall an. Bei den anderen Befragten aus beiden Gruppen stellt die Eingabe der Daten nach eigenen Angaben kein Problem dar. Dies kann zum einen darin begründet liegen, dass die meisten der Projektteilnehmenden eine Anwendungsschulung für *FokusMobil* besucht haben und dadurch mit den Eingabewegen über die App vertraut sind [vgl. auch MBM19]. Zum anderen ist es ebenfalls möglich, dass sich die *Basic-User* bisher noch nicht aktiv mit der Gesundheitsdatenerfassung auseinandergesetzt haben und deswegen keine Schwierigkeiten aufgetreten sind.

Da sich die Probleme bei der Gesundheitsdateneingabe über *FokusMobil* bei den Befragten in Grenzen halten, sollten zusätzlich sonstige Hemmnisse ermittelt werden, die der Nutzung der Features entgegenstehen. Bei der Abfrage waren Mehrfachnennungen möglich (siehe Abbildung). Der Schwerpunkt der ungestützt angegebenen Hemmnisse liegt bei den *Experienced-Usern* vor allem auf der mangelnden Motivation, noch mehr einzugeben als bisher. Die meisten tätigen ihre Eingaben nach eigenem Ermessen und sehen nicht die Sinnhaftigkeit, dies auszudehnen. Technische Schwierigkeiten, fehlende Zeit und der Wechsel von gewohnten Erfassungsmöglichkeiten zur neuen digitalen Form spielen in dieser Gruppe eine untergeordnete Rolle. Der bei Michels et al. (2019) beschriebene Mehrwert durch die Nutzung der Gesundheitsfunktionen der App scheint hier bereits präsent, jedoch noch nicht gänzlich erkannt zu sein [MBM19]. Der Umstieg auf eine neue Technologie stellt für die *Basic-User* ein größeres Hemmnis dar. Auch betriebsinterne Unstimmigkeiten über die Nutzung von *FokusMobil* und der Zeitbedarf für die Eingaben finden mehrfach Erwähnung. Insgesamt zeigt sich erneut, dass die *Basic-User* mehr auf ihre bisherigen Systeme für die Gesundheitsdatenerfassung setzen. Der wahrgenommene Nutzen der Smartphone-App zeigt sich weniger ausgeprägt (vgl. auch BSP09). Bei der Frage nach möglichen Optimierungsmöglichkeiten zur Nutzensteigerung waren die *Basic-User* größtenteils verhalten und äußerten keine Vorschläge. Die Befragten, die sich bereits mehr mit der App auseinandergesetzt haben, nannten vornehmlich Verbesserungspotenziale in der individuellen Gestaltungsmöglichkeit.

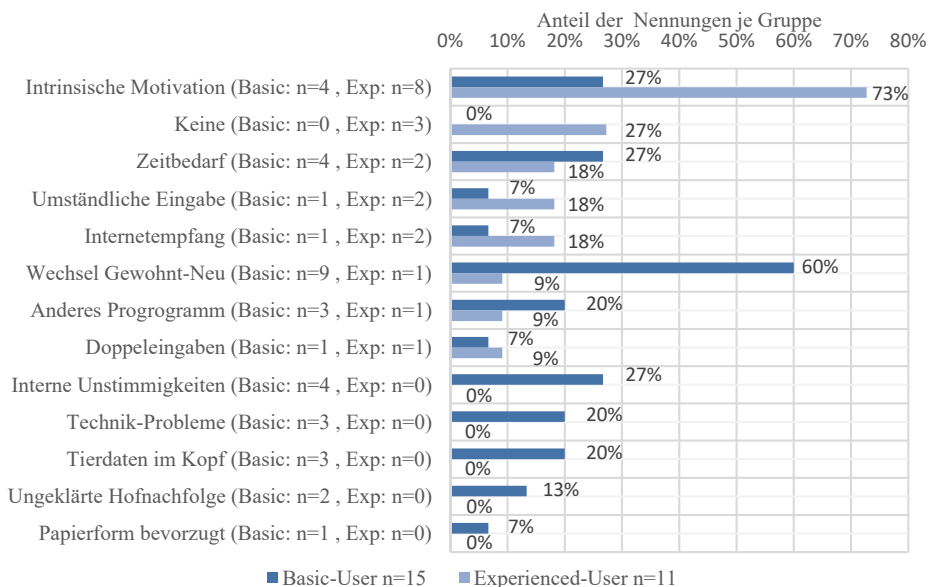


Abb. 1: Hemmnisse bei der Gesundheitsdateneingabe über *FokusMobil* bei der *Basic-User*- (n=15) im Vergleich zur *Experienced-User*-Gruppe (n=11) (Mehrfachnennungen möglich)

4 Schlussfolgerung

Die gängigen Herdenmanagementprogramme verfügen neben einer Vielzahl an Funktionen für das Bestandsmanagement auch im Gesundheitsmonitoring meist über umfangreiche Möglichkeiten. Werden diese Bereiche konsequent genutzt und mit den notwendigen Daten versorgt, können sie einen signifikanten Beitrag zur Verbesserung von Tierwohl und Wirtschaftlichkeit auf Milchviehbetrieben leisten [vgl. auch St11]. Zur Adoption dieser Funktionen muss ihr Mehrwert bewusst sein [vgl. auch MBM19]. Die vorliegende Erhebung ergab, dass dies bei einem Großteil der Befragten bisher nicht der Fall ist, da sie für die Dokumentation der Tiergesundheitsdaten ihre eigenen etablierten Systeme bevorzugen, obgleich managementbezogene Eingaben zum Teil über die App getätigt werden. Hier setzt das Projekt *Digitale Kuh 3.0* an, welches durch die Auswertung und Verknüpfung der eingegebenen Daten eine Nutzensteigerung von *FokusMobil* anstrebt. Neben den Auswertungen regten die Teilnehmenden mehr Varianz in den Gestaltungsmöglichkeiten sowie Verknüpfungen zu Sensortechnik und anderen Programmen zur Optimierung der Gesundheitsfeatures an. Hier ist eine stärkere Zusammenarbeit der verschiedenen Hersteller gefragt, um von einzelnen Programmen zu Managementkomplettpaketen für landwirtschaftliche Betriebe zu gelangen [vgl. auch Pa04]. Ferner zeigt sich in den Gründen, warum die *Basic-User* vermehrt auf ihre eigenen Dokumentationssysteme zurückgreifen, noch weiterer Forschungsbedarf. Der digitale Datenaustausch birgt Risiken, weswegen

das Verhältnis zwischen Kunden und Anbieter von großem Vertrauen geprägt sein muss [vgl. auch BSP09]. Des Weiteren sollte die Veränderung des Nutzungsverhaltens in *FokusMobil* nach Anpassungen in den Gesundheitsfunktionen in folgenden Teilstudien forciert werden, um die Verbesserung des wahrgenommenen Nutzens zu evaluieren.

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

- [Ab17] Abdelsayed, M.: Health data for healthy cows., Australian Dairy Journal, Apr/May, S. 28-29, 2017.
- [BLM09] Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W.: Interviews mit Experten – Eine praxisorientierte Einführung., 1. Auflage, Springer VS, Wiesbaden, 2009.
- [Br08] Britten, U.: Interviews planen, durchführen, verschriftlichen. Ein Arbeitsbuch., 2. Auflage, Palette Verlag, Bamberg, 2008.
- [BSP09] Bahlmann, J.; Spiller, A.; Plumeyer, C. H.: Status quo und Akzeptanz von Internet-basierten Informationssystemen: Ergebnisse einer empirischen Analyse in der deutschen Veredelungswirtschaft. Diskussionspapiere 0901, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Göttingen, 2009.
- [Ma09] Mayer, H. O.: Interview und schriftliche Befragung – Entwicklung, Durchführung, Auswertung., 5. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 2009.
- [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.
- [Pa04] Pawelzik, B.: Das Wirtschaften aus dem Bauch ist vorbei, Eilbote, 47, S. 12-15, 2004.
- [Sc18] 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 Landwirtschaft, 11, S. 26-29, 2011.
- [WH14] Wendl, G.; Harms, J.: Technik in der Rinderhaltung. Jahrbuch Agrartechnik 2013, S. 1-10, 2014.
- [Zi19] Ziemes, T.: Die digitale Kuh 3.0., Landwirtschaftliche Zeitschrift Rheinland, 30, S. 32-33, 2019.

Überbetriebliche Optimalplanung der Düngung mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung

Hanna Kühl¹, Jan-Hendrik Buhk¹ und Hans-Hennig Sundermeier¹

Abstract: Die Düngeverordnung zwingt die landwirtschaftliche Praxis zu sorgfältiger Planung aller Düngungsmaßnahmen. Ein hierfür entwickelter Optimierungsansatz basiert methodisch auf gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung und wurde bisher nur einzelbetrieblich erprobt [BS19a; BS19b; La19]. Der vorliegende Beitrag skizziert die konzeptuelle Erweiterung für eine überbetriebliche Optimalplanung und präsentiert erste Ergebnisse. Kooperieren Betriebe mit latentem Wirtschaftsdüngerüberhang mit Betrieben mit Wirtschaftsdünger aufnehmenpotenzial, so lassen sich trotz erheblich gesteigerter Problemkomplexität überbetrieblich optimierte, verordnungskonforme Allokationsempfehlungen ermitteln, die den Handelsdüngereinkauf weiter reduzieren können. Der Planungsansatz eröffnet damit gerade in Regionen mit starkem Wirtschaftsdünger- und Gärrückstandsanfall weiteres Potenzial zur Umweltschonung.

Keywords: Düngeverordnung, DüV, Düngungsplanung, überbetriebliche Optimalplanung, Lineare Programmierung, MILP

1 Einleitung

Die Düngeverordnung (DüV vom 26.05.2017; [BM17]) verpflichtet landwirtschaftliche Betriebe zur Düngedarfsermittlung für N und P₂O₅ für jeden Schlag bzw. jede Bewirtschaftungseinheit und zur Planung aller Einzelmaßnahmen vor Beginn des Düngungsjahrs. Sie normt die Daten zum Nährstoffbedarf, zur Nährstoffzu- und -abfuhr, zum Nährstoffanfall aus der Tierproduktion, Vorschriften zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern und Gärrückständen aus Biogasanlagen und zeitliche sowie technische Beschränkungen der Düngerausbringung und kodifiziert die Aufzeichnungs- und Nachweispflichten.

Was im Anhang der Düngeverordnung auf den ersten Blick wie ein umfassendes pflanzenbauliches Tabellenwerk für eine Vielzahl von unterschiedlichen Fallsituationen – mit länderspezifischen Sonderregelungen – aussieht, erweist sich für die Planungspraxis als schwer handhabbares Beschränkungsgeflecht. Vereinzelte Planungshilfen (eine Typenauswahl enthält [BS19b]) unterstützen die Rechenwege mit heuristischen partiellen Vorgehensweisen. Insbesondere örtliche und zeitliche Befahrbarkeitsspielräume der Einzelschläge im Zusammenhang mit zeitlichen Verfügbarkeits-, Lager- und Nährstoffwirksamkeitsannahmen für verschiedene Wirtschaftsdünger und Gärrückstände sind mit einfachen, sequentiellen Kalkulationsverfahren nicht systematisch zu berücksichtigen.

¹ Institut für Agrarökonomie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Wilhelm-Seelig-Platz 6/7, 24118 Kiel; hanna.kuehl@freenet.de; jhbuhk@ae.uni-kiel.de; hsundermeier@lbv-net.de

Gerade im gezielten, möglichst effizienten Einsatz des anfallenden Wirtschaftsdüngers als Substitut für kostenträchtigen Zukauf von Handelsdünger steckt ein bisher nicht vollständig erschlossenes wirtschaftliches Verbesserungspotenzial. Administrativer Druck durch gesetzlichen Umwelt- und Gewässerschutz sowie bestmögliche Ausschöpfung wirtschaftlicher Reserven waren Hauptmotive für die Entwicklung einer prototypischen Entscheidungshilfe für die praktische Düngeplanung.

Die Anforderungen an die mathematische Methode ergeben sich einerseits aus der Problemkomplexität – die schlag- und kulturspezifischen Bedarfswerte für Makronährstoffe lassen sich durch viele Mengenkombinationen aus betrieblich vorhandenen Wirtschaftsdüngern und regionstypischen Handelsdüngern decken – und andererseits durch die angestrebte Umsetzbarkeit für die Planungspraxis – technische Mindestmengen für jede einzelne Düngergabe sind genauso wichtig wie degressive Ausbringungskosten. Kommen Wirtschaftsdünger zum Einsatz, so lässt sich deren optimaler zeitlicher und schlagspezifischer Einsatz nur durch simultane Prüfung aller zulässigen Düngertyp- und Mengenkombinationen und ggfs. unter gleichzeitiger Berücksichtigung zeitlicher Anfallsvorgaben und Lagerbeschränkungen ermitteln.

Diese Vorüberlegungen führten zur gemischt-ganzzahligen Linearen Programmierung (MILP, mixed-integer linear programming) als Lösungsalgorithmus und zur Abbildung aller fallspezifischen Kombinations- und Substitutionsmöglichkeiten innerhalb des verordnungsbegrenzten Beziehungsgeflechts als LP-Matrix. Die kombinatorische und mengenmäßige Alternativenprüfung wird gemäß Kostenminimierungsregel so lange fortgesetzt, bis sich keine günstigere Allokation der Düngemittel findet. Die ersten Modelleinsätze in Fallstudien (s. [BS19a], [BS19b], [La19]) belegten als „proof of concept“ die Machbarkeit und erfüllten alle Erwartungen bezüglich Methodeneignung und Ergebnisqualität. Eine weitere Studie [BSL19] untersuchte die Bedeutung unterschiedlicher Lagerkapazitäten für die optimale zeitliche Wirtschaftsdüngerallokation im Düngejahr.

2 Überbetriebliche Düngungsplanung: Konzepterweiterung

Die positiven Einsatzerfahrungen in Einzelbetrieben mündeten in einen überbetrieblichen Optimierungsansatz. Leitfragen beim Konzeptausbau waren: a) Welche zusätzlichen Modellierungen sind neben der wachsenden Zahl der Schläge notwendig, b) Kommen trotz erweiterter Komplexität noch praktikable Ergebnisse zustande und c) Welche Einsparungen lassen sich durch gesteigerte exogene Wirtschaftsdüngerzufuhr bei gleichbleibenden Ertragsannahmen verordnungskonform erschließen? Insbesondere der letzte Aspekt verdient besondere Beachtung: Kooperieren Betriebe mit latentem Wirtschaftsdüngerüberhang mit Betrieben mit Wirtschaftsdünger aufnehmenpotenzial, so ließen sich nicht nur allseits verordnungskonforme Allokationsempfehlungen ermitteln, sondern auch zusätzlich der Handelsdüngereinkauf insgesamt, die Ausbringungskosten sowie Nährstoffüberschüsse weiter reduzieren.

Abbildung 1 skizziert schematisch die Modellkonstituenten im Einzelbetrieb als auch im Zusammenspiel aller beteiligten Betriebe. Jede Hinzunahme eines weiteren Betriebes erschwert oder erleichtert (je nach Fruchtartenverhältnis und Nährstoffversorgung der Flächen) die verordnungskonforme Düngerallokation. Der „action room“ (= mathematischer Möglichkeitenraum aller Entscheidungsalternativen) wächst in jedem Fall und mit ihm die Modellkomplexität. Damit wachsen auch die Chancen, für alle Betriebe insgesamt abgestimmte, wirtschaftliche und verordnungskonforme Allokationsoptima zu finden.

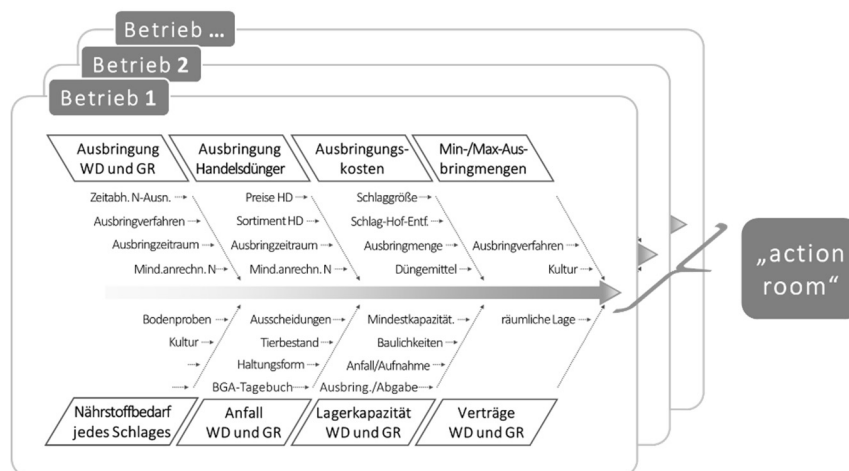


Abb. 1: Vereinigung der betriebsspezifischen Handlungsalternativen, Beschränkungen und Datenannahmen im überbetrieblichen „action room“ (verändert nach [BS19a])

Quantitativ erprobt wurden diese Überlegungen anhand der Daten einer hypothetischen Kooperation von fünf Betrieben mit insgesamt ca. 1.200 ha Ackerfläche in benachbarter Lage (die maximale Entfernung zwischen den insgesamt 55 Schlägen betrage ca. 25 km) [Kü19]. Die Gruppe betreibt unter gemeinsamer Arbeitsorganisation Marktfruchtbau und habe sich vertraglich zur Aufnahme des Gärrückstands einer Biogasanlage und des in einem der Betriebe anfallenden Hühnertrockenkots verpflichtet. Die Abbildung dieser Fallkonstellation ergibt eine „sparse“-Matrix mit ca. 7.000 Aktivitäten (davon sind knapp die Hälfte 0/1-Variablen) und ca. 3.600 Restriktionen. Neben den obligatorisch zu verwertenden Wirtschaftsdüngern (Gärrückstand und Hühnertrockenkot) standen 18 ortstypische Handelsdünger (Ein- und Mehrnährstoffdünger) zur Auswahl.

Zusätzlich zu den schlagspezifischen Optimalplänen für das Düngjahr sollte auch ermittelt werden, zu welchen Konditionen über die vertraglich vereinbarte Menge hinaus weitere Gärrückstandsmengen verwertet werden könnten. Die „Knappheit“ bzw. das „Überangebot“ repräsentierten Verrechnungspreise von 5 Euro/m³ bzw. Vergütungen bis -15 Euro/m³ – jeweils unverändert über das Düngjahr. Düngerechtlich wurde differenziert: Gelten die gesamtbetrieblichen Nährstoffgrenzen (170 kg N_{org}/ha bzw. Nährstoffvergleich) für jeden Betrieb mit seinen angestammten Flächen jeweils einzeln (Sichtweise A) oder sind nur „globale“, betriebsübergreifende Beschränkungen über alle eingebrachten

Flächen (Sichtweise B) zu berücksichtigen. Um allein düngerechtliche Unterschiede herauszuarbeiten, erfolgte die Allokation der Düngemittel in beiden Szenarien über alle Schläge. Die Einhaltung anderer Vorgaben, wie z. B. des Greenings, wurde aufgrund der Exogenität der Kulturenauswahl in beiden Sichtweisen nicht geprüft.

3 Ergebnisse

Abbildung 2 repräsentiert die mengenmäßige Aufnahmefähigkeit der in der Kooperation zusammengefassten Flächen bei unterschiedlichen Annahmen bezüglich Verrechnung zusätzlicher Mengen (im Intervall +5 ... -15 Euro/m³). Bei düngerechtlicher Trennung der Flächen (Sichtweise A) ist ein kostenträchtiges Gärrückstandsangebot nicht attraktiv. Erst wenn ein finanzieller Anreiz (Vergütung > 0 Euro/m³) die enthaltenen Nährstoffe begleitet, kann mehr Gärrückstand durch die Teilkompensation der Ausbringungskosten aufgenommen werden. Bei etwa 17.000 m³ zusätzlicher Abnahme scheint das Nährstoff-Aufnahmepotenzial ausgeschöpft.

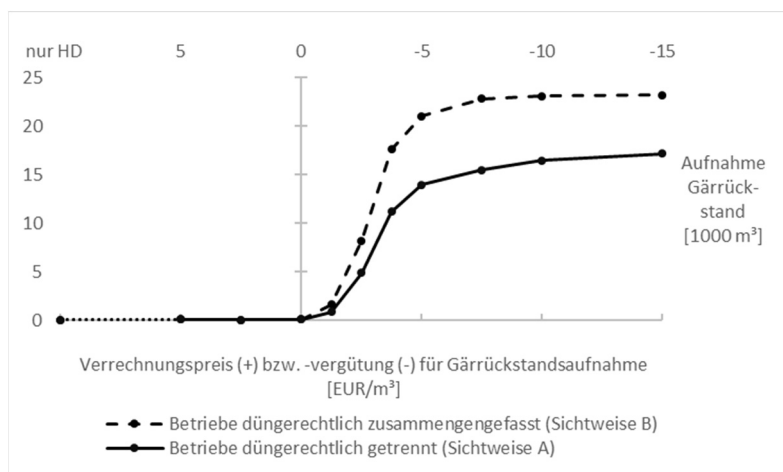


Abb. 2: Änderung der Aufnahmemenge bei Variation des Verrechnungspreises bzw. der Verrechnungsvergütung für Gärrückstand

Alle Flächen zusammen könnten also etwa 15 m³/ha Gärrückstand zusätzlich zum obligatorisch auszubringenden Gärrückstand (ca. 10 m³/ha) und Hühnertrockenkot (ca. 0,5 t/ha) aufnehmen. Die hypothetische Sichtweise B erhöht durch ihre geringere Restriktivität in der Nährstoffbilanzierung das Aufnahmepotenzial aller Flächen bei zusätzlicher Vergütung auf etwa 23.000 m³ (ca. 20 m³/ha).

Abb. 3 spiegelt das wirtschaftliche Potenzial der Gärrückstaufnahme bei unterschiedlichen Verrechnungspreisen wider. Grundsätzlich senkt diese mit steigender Vergütung

die Gesamtdüngungskosten in beiden Sichtweisen. Eine düngerechtliche Zusammenfassung der Betriebe (Sichtweise B) eröffnet weiteres Einsparpotenzial bei den Düngungskosten insbesondere bei Vergütungen einer Wirtschaftsdüngeraufnahme im aufnehmenden Betrieb. Der nahezu lineare Verlauf dieses Zusammenhangs bei hoher Vergütung resultiert aus der Kompensation der schlechteren Verwertung des zusätzlichen Gärrückstandes durch diese hohen Vergütungen. Der Mehrnährstoffdünger „Gärrückstand“ wird in diesem Fall vermehrt zur Düngung einzelner Nährstoffe eingesetzt.

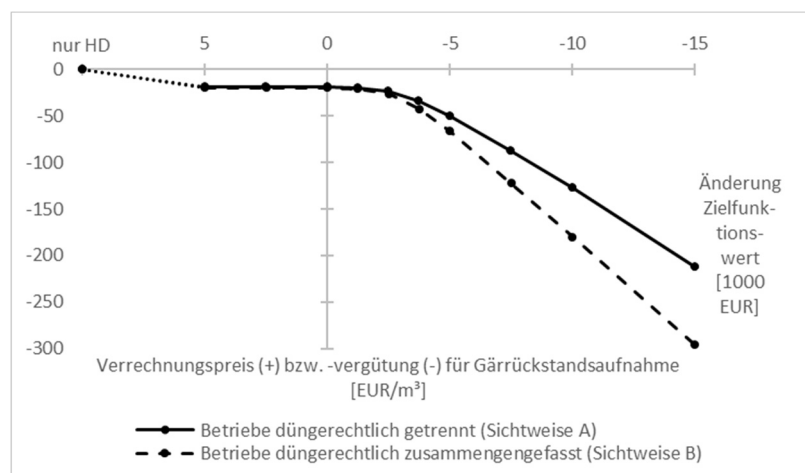


Abb. 3: Änderung des Zielfunktionswertes bei Variation des Verrechnungspreises bzw. der Verrechnungsvergütung für Gärrückstand

Ausgehend vom Referenzszenario (Erfüllung der Bedarfswerte ausschließlich über Handelsdünger) senkt die Ausbringung des bzw. der vertraglich obligatorisch aufzunehmenden Hühnertrockenkotes und Gärrückstände bei düngerechtlicher Trennung den Zielfunktionswert. Zusätzlicher Gärrückstand wird noch nicht aufgenommen, da dessen Wert sehr nah an seinen Ausbringungskosten liegt (vgl. Abb. 2). Eine zusätzliche Vergütung aufgenommenen Gärrückstandes kann die Ausbringungskosten teilweise decken, erhöht seine Aufnahmemenge und senkt damit den Zielfunktionswert. Allein die düngerechtliche Zusammenfassung schafft kostengünstigere Ausbringungsalternativen und senkt somit den Zielfunktionswert weiter.

4 Fazit und Ausblick

Unser Modellierungsansatz erweist sich auch bei einer erheblich komplexeren überbetrieblichen Problemstellung zur Düngungsplanung als ohne erkennbare Einschränkungen einsetzbar und praxistauglich. Er ist geeignet, die existenten Verordnungsnormen und Rechenregeln lückenlos abzubilden und bietet Mehrwerte durch bestmögliche Nutzung der Nährstoffe in den Wirtschaftsdüngern sowie durch die Substitution von Handelsdüngern.

Basierend auf Fallstudien von fünf hypothetisch kooperierenden Betrieben haben wir den Verrechnungswert für Gärrückstand – stellvertretend für Wirtschaftsdünger allgemein – im praxisüblichen Bereich von einem Zukaufpreis von 5 Euro/m³ bis zu einer Aufnahmevergütung von -15 Euro/m³ parametrisiert. Wie zu erwarten war, steigt die Gärrückstandsaufnahme mit zunehmender Vergütung durch abgebende exogene Betriebe. Der wirtschaftliche Vorteil nimmt allerdings infolge der Nährstoffbilanzierungsgrenzen und schlechterer Stickstoffwirkungsäquivalente mit zunehmender Menge ab.

Bei anhaltendem, regional konzentriertem Anfall von Wirtschaftsdünger aus der Tierproduktion und Biogasanlagen lässt sich für überbetriebliche Zusammenschlüsse die Wirtschaftsdüngerverwertung spatial und temporal verordnungskonform und kostenminimal ermitteln. Ob diese situationspezifisch optimierten Empfehlungen tatsächlich zustande kommen, entscheiden letztlich die beteiligten Betriebsleiter. Die Bilanzierungsvorschriften vermehren die Transporte auf noch aufnahmefähige Flächen. Diese sind für die jeweils betrachtete Fallkonstellation kostenminimal – ihre gesellschaftliche Akzeptanz bleibt jedoch trotz Vorteilen für die Umwelt abzuwarten.

Literaturverzeichnis

- [BM17] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Deutschland (2017). Düngeverordnung. www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Duengung.html
- [BSL19] Buhk, J.-H.; Sundermeier, H.-H.; Latacz-Lohmann, U.: Nitratrichtlinie und Wirtschaftsdüngerallokation: Folgen veränderter Lagerkapazitäten. In (Grötzer, M et al., Hrsg.) Perspektiven wertebasierter Wertschöpfungsketten - Perspectives on Values-based Supply Chains: Tagungsband der 29. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie in Innsbruck, 2019, S. 51-52.
- [BS19a] Buhk, J.-H., Sundermeier, H.-H.: Düngeoptimum digital: Entscheidungs-„Navi“ gemäß Düngeverordnung in Sicht. <https://www.hochschultagung.ae.uni-kiel.de/de/beitraege/langfassung-2019>, Stand: 30.10.2019.
- [BS19b] Buhk, J.-H.; Sundermeier, H.-H.: Düngeplanung mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung: bedarfsgerecht, betriebsspezifisch, kostenminimal und verordnungskonform. In (Meyer-Aurich, A. et. al., Hrsg.): Referate der 39. GIL-Jahrestagung in Wien, 18.-19. Februar 2019: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? Lecture Notes in Informatics (GI Lecture Notes) 287, S. 31-36, 2019.
- [Kü19] Kühl, H.: Überbetrieblich optimierte Düngeplanung mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung – Fallstudie. Masterarbeit, Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2019.
- [La19] Lange, S.: Optimierte Wirtschaftsdünger-Allokation für einen Veredlungsbetrieb bei Vornutzung der tierischen Exkreme in einer Biogasanlage. Bachelorarbeit, Institut für Agrarökonomie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2019.

Entwicklung eines Berechnungsmodells zur automatischen Lahmheitserkennung

Isabella Lorenzini¹, Katharina Grimm¹ und Bernhard Haidn¹

Abstract: Die Früherkennung von Lahmheit spielt bei der Vermeidung von Leistungseinbußen und Leiden für die Tiere eine wesentliche Rolle. In der vorliegenden Studie wurden auf vier Praxisbetrieben und einem Versuchsbetrieb Verhaltens- und Leistungsdaten sowie Daten zur Klauengesundheit von 638 Tieren gesammelt. Anhand der erfassten Daten wurde das Enet-BETA Modell, das eine Genauigkeit von 0,61 AUC² aufwies, und das gemischte lineare Modell, das eine AUC = 0,83 aufwies, als Vorhersagemodelle für Lahmheiten bei Milchkühen überprüft.

Keywords: Lahmheit, Vorhersagemodell, precision livestock farming

1 Einführung und Problemstellung

Lahmheit ist eine der häufigsten Produktionskrankheiten in der Milchviehhaltung. Lahmheit beeinflusst das Wohlbefinden der Tiere [BBS12] und ihr natürliches Verhalten [GB02]. Studien zeigen, dass Lahmheit sich auf das Liegeverhalten der Tiere auswirkt; im Vergleich zu nicht lahmen Tieren liegen lahme Tiere durchschnittlich mehr und stehen weniger oft auf [Gr19]. Außerdem wird durch Lahmheit das Futteraufnahmeverhalten beeinflusst; Tiere mit Klauenerkrankungen verbringen weniger Zeit am Futtertisch und besuchen diesen weniger oft [Gr19]. Auch die Milchleistung kann bei lahmen Tieren abnehmen [AGH10], was kombiniert mit einem erhöhten Arbeitsaufwand, Behandlungskosten und verkürzter Nutzungsdauer wirtschaftliche Einbußen für den Landwirt verursacht [BHS10]. Trotz der technologischen und züchterischen Fortschritte in der Milchviehhaltung hat sich die Lahmheitsprävalenz in den letzten Jahrzehnten auf europäischen Milchviehbetrieben nicht verändert [Sc09]. Die letzte bekannte Prävalenzstudie, die zum Thema Lahmheit in Deutschland durchgeführt wurde, stammt aus dem Jahr 2004 und gibt 45 % als durchschnittlichen Anteil lahmer Tiere pro Betrieb an [WB04]. Eine neuere Studie aus dem Jahr 2018, die in Großbritannien durchgeführt wurde, weist 31 % lahme Tiere pro Betrieb auf [GGO18].

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), Prof. Dürrwaechter-Platz 2, 85586 Grub, isabella.lorenzini@lfl.bayern.de, grimm.k@hotmail.com, bernhard.haidn@lfl.bayern.de

² Area under the curve, Fläche unter der Kurve

1.1 Lahmheitserkennung

Das Ausbleiben von Verbesserungen der Lahmheitsprävalenz könnte demnach unter Anderem an den Schwierigkeiten bei der Erkennung liegen. Landwirte neigen dazu, die Lahmheitsprävalenz auf ihren eigenen Betrieben signifikant zu unterschätzen [Šá11] und geben Zeit als limitierenden Faktor bei der frühzeitigen Erkennung und Behandlung von lahmen Tieren [Ho13] an.

Den Goldstandard für die Lahmheitserkennung stellt das Locomotionscoring dar, dabei werden Tiere anhand der Qualität ihres Ganges in verschiedene Kategorien eingeteilt. Ein gemeinsames Problem aller Gangbeurteilungssysteme ist die niedrige Inter- und Intrarater Reliabilität [Sc14].

Eine effiziente und arbeitersparende Alternative zur manuellen Gangbeurteilung ist die automatische Lahmheitserkennung. Bei der indirekten Lahmheitsdetektion werden Veränderungen in der Leistung und im Verhalten der Tiere als Indikatoren für Lahmheit eingesetzt. Van Hertem et al. (2013) erreichten mit ihren multivariaten Regressionsmodellen eine hohe Genauigkeit ($AUC = 0,89$) [Va13], während in einem Vorgängerprojekt am Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) Grimm et al. (2019) ein Berechnungsmodell zur automatischen Lahmheitsvorhersage mit einer $AUC = 0,94$ [Gr19] entwickelten. Das Ziel der hier vorgestellten Studie war es, das im Vorgängerprojekt von Grimm et al. (2019) entwickelte Berechnungsmodell anhand von Praxisdaten zu überprüfen und weiterzuentwickeln.

2 Tiere, Material und Methoden

2.1 Datenerfassung

Die Daten für diese Studie wurden über einen Zeitraum von 14 Monaten auf vier Praxisbetrieben und einem Versuchsbetrieb gesammelt. Insgesamt wurden Daten von 638 Kühen erfasst. Pedometer³, die am rechten Vorderbein aller Tiere befestigt wurden, erfassten die Aktivität sowie das Liege- und Futteraufnahmeverhalten der Tiere. Die Daten zur Leistung der Tiere wurden bei drei der fünf Projektbetriebe über die monatlichen Milchmengenmessungen des LKV Bayern⁴ erfasst, während bei den übrigen zwei Betrieben die Daten des AMS⁵ herangezogen wurden.

Die Referenzdaten für die Klauengesundheit der Tiere wurden manuell über Locomotionscoring, Videoanalyse und Klauenuntersuchungen erfasst. Alle vierzehn Tage wurde

³ „Track a Cow“, ENGS Dairy Solutions, Rosh Pina, Israel

⁴ Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V.

⁵ Automatisches Melksystem.

über Videoaufnahmen ein Locomotionscore aller Tiere durchgeführt und anschließend wurden die lahmen Kühe untersucht und gegebenenfalls behandelt.

2.2 Datenanalyse

Nach der Versuchsphase wurden die erfassten Daten in einer postgresQL Datenbank zu Tagesdatensätzen für jedes Tier zusammengefasst. Die Datenanalyse wurde in RStudio⁶ durchgeführt. Die unbalanzierten Daten wurden skaliert, zentriert und in einen Trainings- und einen Testdatensatz aufgeteilt. Anhand des SMOTE Algorithmus [Ch02] wurden anschließend die stark überrepräsentierten positiven Lahmheitsfälle mit synthetisch generierten Kontrollfällen ausgeglichen.

Als erstes wurden anhand einer schrittweisen Regression relevante Interaktionsparameter zwischen den Prädiktoren hervorgehoben. Anschließend wurde das im Vorgängerprojekt bereits angewandte Enet-BETA [LL17] Modell anhand der erfassten Daten überprüft. Diese nach Liu und Li (2017) modifizierte Form des elastic net Modells ist ein Regressionsmodell, das sich für die Analyse von Datensätzen mit einer hohen Kollinearität und zahlreichen Variablen gut eignet. Durch die vom elastic net durchgeführte Variablenselektion entsteht ein sparsames und somit besser interpretierbares Modell [St12; ZH05].

Ferner wurden die Daten anhand einer generalisierten, gemischten linearen Regression (GGLR) mit dem Faktor „Betrieb“(B) und „Einzeltier“ (BTN) als zufälligen Effekten analysiert. Die Genauigkeit der Modelle wurde mittels ROC⁷ Kurvenanalyse bestimmt. Bei der ROC Kurvenanalyse wird für verschiedene Grenzwerte des Modells die Richtigkeitsrate gegen die Falschpositivrate aufgetragen. Die Fläche unter der daraus resultierenden Kurve wird als AUC bezeichnet und beschreibt die Qualität einer Vorhersage. Bei einer Vorhersage, deren Genauigkeit dem Zufall entspricht, ist die AUC = 0,5, während bei einer perfekten Vorhersage die AUC = 1 beträgt [Me78].

3 Ergebnisse

Der Trainingsdatensatz mit Daten aller Projektbetriebe wurde anhand des Enet-BETA-Verfahrens mit einer 10-fachen Kreuzvalidierung analysiert. Das finale Enet-BETA-Modell wies 3 Prädiktoren auf. Diese waren C.MN⁸, C.MN:P⁹, sowie P¹⁰. Die AUC des Enet-BETA-Modells auf dem Trainingsdatensatz war 0,61 (KI 0,60 – 0,63). Das Modell wurde anschließend auf dem Testdatensatz überprüft und wies ebenso eine AUC von 0,61 (KI 0,58 – 0,65) auf.

⁶ 1.0.136 Version, RStudio Team, MA.

⁷ Receiver operating characteristics

⁸ Anzahl der Futtertischbesuche

⁹ Interaktionsparameter zwischen Anzahl an Futtertischbesuche und die Parität

¹⁰ Parität

Nachdem, wie beim Enet-BETA-Verfahren, die relevanten Interaktionsparameter der GGLR anhand einer schrittweisen Regression hervorgehoben wurden, wurden die statistisch nicht signifikanten Prädiktoren schrittweise vom Modell entfernt. Das finale Modell war wie folgt aufgebaut:

$$\text{Lahmheitsstatus} \sim \text{AC} + \text{ACR} + \text{C.FDM} + \text{DIM} + \text{FD} + \text{FDR} + \text{LDB} + \text{LDR} + \text{MMY} + \text{P} + \text{DIM:FD} + \text{FD:MMY} + (1 \mid \text{B/BTN})^{11} \quad (1)$$

Die GGLR wies 13 Prädiktoren auf, mit zwei Interaktionsparametern zwischen jeweils den Tagen in Milch und der Tagesmilchleistung bzw. der Futteraufnahmedauer, und hatte eine AUC von 0,88 (KI 0,87 – 0,89). Auf den Testdaten wies die GGLR eine AUC von 0,83 (KI 0,80 – 0,85) auf. Die GGLR wurde dann mit Daten der einzelnen Betriebe überprüft und hatte eine hohe Genauigkeit mit einer AUC zwischen 0,89 und 0,96 auf den Trainingsdatensätzen.

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Das im Vorgängerprojekt mit Daten aus dem Versuchsbetrieb der LfL¹² entwickelte Enet-BETA-Modell wies eine viel höhere Genauigkeit auf als das Modell, das im Rahmen dieser Studie berechnet wurde. Der Ursprung der Daten aus verschiedenen Betrieben spielte wahrscheinlich eine große Rolle dabei; dies wird auch durch die höhere Genauigkeit der GGLR, die die unterschiedliche Varianz der Daten innerhalb der Betriebe im Vergleich zur Gesamtvarianz berücksichtigt, bestätigt. Außerdem war die Genauigkeit der GGLR bei den mit Daten der einzelnen Betriebe berechneten Modellen höher. Der in der GGLR berücksichtigte zufällige Effekt des Einzeltiers war ebenso von großer Bedeutung. Die unterschiedliche Varianz der Verhaltens- und Leistungsdaten zwischen den Einzeltieren war groß, somit war die Genauigkeit der Vorhersage beim Enet-BETA-Modell, das diesen Faktor nicht berücksichtigte, niedriger.

Obwohl es nicht möglich war, die hohe Genauigkeit des im Vorgängerprojekt berechneten Enet-BETA-Modells mit Daten aus Praxisbetrieben zu reproduzieren, zeigten die Ergebnisse dieser Studie, dass es möglich ist, Lahmheit mit einem verhältnismäßig niedrigen technologischen Aufwand vorherzusagen. Um eine praktische Anwendung zu ermöglichen, müsste die Genauigkeit der Vorhersagen durch eine stärkere Berücksichtigung von Managementfaktoren, die Betriebe voneinander unterscheiden, noch verbessert werden. Außerdem könnte eine Zeitreihenanalyse eingesetzt werden, um Abweichungen vom tierindividuellen Verhaltensmuster, die mit einer Klauenerkrankung einhergehen, zu identifizieren und somit die Lahmheit frühzeitig zu detektieren.

¹¹ AC: Aktivität, ACR: Aktivität tagsüber, C.FDM: Futteraufnahmedauer pro Mahlzeit, DIM: Tage in Milch, FD: Futteraufnahmedauer, FDR: Futteraufnahmedauer tagsüber, LDB: Liegedauer pro Liegeereignis, LDR: Liegedauer tagsüber, MMY: Durchschnittliche Tagesmilchleistung, P: Parität, B: Betrieb, BTN: Tiernummer

¹² Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Literaturverzeichnis

- [AGH10] Archer, S. C.; Green, M. J.; Huxley J. N.: Association between milk yield and serial locomotion score assessments in UK dairy cows. *Journal of Dairy Science* 09/10, S. 4045-4053, 2010.
- [BHS10] Bruijnis, M. R. N.; Hogeveen, H.; Stassen, E. N.: Assessing economic consequences of foot disorders in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. *Journal of Dairy Science* 06/10, S. 2419-2432, 2010.
- [BBS12] Bruijnis, M. R. N.; Beerda, B.; Stassen, E. N.: Assessing the welfare impact of foot disorders in dairy cattle by a modeling approach. *Journal of Dairy Science* 06/12, S. 962-970, 2012.
- [Ch02] Chawla, N.V.; Bowyer, K.W.; Hall, L.O.; Kegelmeyer, W.P.: SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research* 01/02, S. 321-357, 2002.
- [GB02] Galindo, F.; Broom, D.M.: The Effects of Lameness on Social and Individual Behavior of Dairy Cows. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 03/02, S. 193-201, 2002.
- [GGO18] Griffiths, B. E.; Grove White, D.; Oikonomou, G.: A Cross-Sectional Study Into the Prevalence of Dairy Cattle Lameness and Associated Herd-Level Risk Factors in England and Wales. *Frontiers in Veterinary Science* 05/18, S. 65, 2018.
- [Gr19] Grimm, K.; Haidn, B.; Erhard, M.; Tremblay, M.; Döpfer, D.: New Insights into the Association between Lameness, Behavior, and Performance in Simmental Cows. *Journal of Dairy Science* 03/19, S. 2453-2468, 2019.
- [Ho13] Horseman, S. V.; Whay, H. R.; Huxley, J. N.; Bell, N. J.; Mason, C. S.: A Survey of the On-Farm Treatment of Sole Ulcer and White Line Disease in Dairy Cattle. *The Veterinary Journal* 02/13, S. 461-467, 2013.
- [LL17] Liu, W.; Li, Q.: An Efficient Elastic Net with Regression Coefficients Method for Variable Selection of Spectrum Data. *PLOS ONE* 02/17, 2017.
- [Me78] Metz, C. E.: Basic Principles of ROC Analysis. *Seminars in Nuclear Medicine* 04/78, S. 283-298, 1978.
- [Šá11] Šárová, R.; Stehulova, I.; Kratinová, P.; Firla, P.; Spinka, M.: Farm Managers Underestimate Lameness Prevalence in Czech Dairy Herds. *Animal Welfare* 02/11, S. 201-204, 2011.
- [Sc09] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Report on the Effects of Farming Systems on Dairy Cow Welfare and Disease. *EFSA Journal* 07/09, 2009.
- [Sc14] Schlageter-Tello, A.; Bokkers, E. A. M.; Koerkamp, P. W. G. G.; Van Hertem, T.; Viuzzi, S.; Romanini, C. E. B.; Halachmi, I.; Bahr, C.; Berckmans, D.; Lokhorst, K.: Manual and Automatic Locomotion Scoring Systems in Dairy Cows: A Review. *Preventive Veterinary Medicine* 09/14, S. 12-25, 2014.
- [St12] Stuckart, C.: Methoden des Elastic Net zur sparsamen Variablenselektion und deren Anwendung in der Genetik, Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik, Institut für Statistik, 2012.

- [Va13] Van Hertem, T.; Maltz, E.; Antler, A.; Romanini, C. E. B.; Viazzi, S.; Bahr, C.; Schlageter-Tello, A.; Lokhorst, C.; Berckmans, D.; Halachmi, I.: Lameness Detection Based on Multivariate Continuous Sensing of Milk Yield, Rumination, and Neck Activity. *Journal of Dairy Science* 07/13, S. 4286-4298, 2013.
- [WB04] Winckler, C.; Brill, G.: Lameness Prevalence and Behavioural Traits in Cubicle Housed Dairy Herds - a Field Study. In *Proceedings of the 13th International Symposium and Conference on Lameness in Ruminants*. Univerzitetna knjižnica Maribor Slovenia, 2004.
- [ZH05] Zou, H.; Hastie, T.: Regularization and Variable Selection via the Elastic Net. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 02/05, S. 301-320, 2005.

Betriebsvergleich 4.0

Ein partizipativer Ansatz zur Anpassung des Betriebsvergleichs Gartenbau an die Anforderungen moderner Unternehmensführung und -beratung

Robert Luer¹ und Bernd Hardeweg¹

Abstract: Bedingt durch den Strukturwandel und den Abbau der Officialberatung sinkt die Zahl der am Betriebsvergleich des Zentrums für Betriebswirtschaft im Gartenbau teilnehmenden Unternehmen. Um dennoch eine aussagekräftige Datenbasis für politische Entscheidungen zu haben, sollen in einem Entscheidungshilfe-Vorhaben des BMEL Vorschläge erarbeitet werden, wie der Betriebsvergleich gestärkt und für eine moderne Unternehmensführung und -beratung attraktiv gestaltet werden kann. In einem partizipativen Ansatz wurden dazu zunächst explorativ in drei regionalen Workshops sämtliche Interessengruppen eingebunden. Als zentrale Teilnehmerschwierigkeiten wurden die späte Verfügbarkeit der Auswertung und eine geringe Vergleichbarkeit genannt. Im Anschluss wurde ein Prototyp einer Online-Anwendung entwickelt und in leitfragengestützten Interviews 88 Unternehmen vorgestellt. Der auf den Rückmeldungen seitens der Unternehmen und der Beratung entwickelte Betriebsvergleich 4.0 bietet nun u. a. unterjährige Auswertungen und eine Gruppenfunktion an. Seit März 2018 wird der Betriebsvergleich 4.0 genutzt und kontinuierlich verbessert und ausgebaut. Zeitgleich läuft eine Befragung der Nutzerinnen und Nutzern, welche die Akzeptanz des Systems klären soll.

Keywords: Unternehmensführung, Beratung, Gartenbau, Ausbildung, Netzwerk

1 Einleitung

Gartenbauunternehmen stehen in intensivem Wettbewerb und sind zunehmend mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Wetterextreme, Fachkräftemangel, wachsende rechtliche Anforderungen durch den Gesetzgeber sowie steigende umweltschutzbezogene Erwartungen der Konsumentinnen und Konsumenten sind nur einige Stichworte. Der kontinuierliche Veränderungsdruck auf die Gartenbauunternehmen wird auch mit Blick auf den Strukturwandel deutlich. Zwischen 2005 und 2016 sank die Anzahl der Gartenbaubetriebe mit Schwerpunkt Erzeugung um 37,9 % von 23.034 auf 14.305 Unternehmen. Zeitgleich wuchs die bewirtschaftete Nutzfläche um 10,1 % [IH19]. Zusammen mit der Betriebsgröße steigt in der Regel die Komplexität eines Unternehmens an, was wiederum die Unternehmensführung vor die Herausforderung stellt, rationale Entscheidungen zu treffen. Dadurch wird der Informationsbedarf der Unternehmen erhöht. Zusätzlich benötigen

¹ Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e. V., Herrenhäuser Str. 2, 30149 Hannover, luer@zbg.uni-hannover.de; hardeweg@zbg.uni-hannover.de

Verbände und Politik eine aussagekräftige Datenbasis zur Formulierung und Kommunikation politischer Positionen. Eine wichtige Datengrundlage für diese Zwecke ist seit über 60 Jahren der Betriebsvergleich des Zentrums für Betriebswirtschaft im Gartenbau (ZBG).

Die Zahl der am Betriebsvergleich des ZBG teilnehmenden Unternehmen ist seit Jahren rückläufig. Während in die Auswertung des Jahres 2005 (inkl. abw. Wirtschaftsjahr 2005/2006) noch 1.238 Betriebe eingeflossen sind, konnten für das Jahr 2016 (inkl. 2016/2017) nur noch die Abschlüsse von 700 Betrieben ausgewertet werden [ZBG07; ZBG18]. Diese Reduktion um 43 % kann zu einem Teil mit dem allgemeinen Strukturwandel erklärt werden. Zusätzlich bedingen der Abbau der Offizialberatung der Länder und geringere Kapazitäten bei den landwirtschaftlichen Buchstellen, welche als Mittler des Betriebsvergleichs wesentliche Funktionen wie die Anonymisierung der Daten und die Standardisierung der Jahresabschlüsse übernehmen, die sinkende Teilnehmerzahl [Ko12]. Daher werden im Zuge eines Entscheidungshilfe-Vorhabens des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Vorschläge erarbeitet, wie eine stärkere Fokussierung auf die Bedürfnisse der Unternehmen die Akzeptanz des Betriebsvergleichs erhöhen kann und welche Chancen sich durch die Digitalisierung des Betriebsvergleichs ergeben. Mit der Durchführung des Entscheidungshilfe-Vorhabens wurde die Marketingberatung CO CONCEPT beauftragt, welche seit Dezember 2016 in enger Zusammenarbeit mit dem ZBG dieses Projekt bearbeitet.

2 Methodik

Von Beginn an wurden im Projekt in einem partizipativen Ansatz alle relevanten Akteursgruppen, d. h. Unternehmen der gartenbaulichen Sparten, Verbände sowie Vertreter von (Steuer-)Beratung, Wissenschaft und Politik, eingebunden. Die Forschungsfrage, wie der Betriebsvergleich gestärkt und für eine moderne Unternehmensführung und -beratung attraktiv gestaltet werden kann, sollte in drei Untersuchungsphasen beantwortet werden, die im Folgenden kurz dargestellt werden (Abbildung 1).

Um die Erwartungen der einzelnen Akteure an einen überarbeiteten Betriebsvergleich in Erfahrung zu bringen, wurden zunächst Workshops durchgeführt. Zu den Workshops wurden Akteure der verschiedenen Gruppen eingeladen, um relevante Hinweise aus verschiedenen Perspektiven zu bekommen und eine vielfältige Diskussion zu gewährleisten. Insgesamt wurden drei regionale Workshops abgehalten, die durch unterschiedliche Tagungsorte möglichst viele verschiedene Teilnehmerinnen und Teilnehmer erreichen sollten (Heidelberg, Klein Altendorf, Hannover). Aufgrund nicht vorhandener Annahmen und Thesen erschien eine explorative Herangehensweise geeignet. Für die Durchführung der Workshops fand die World-Café Methode Anwendung [BI05], die sich eignet, heterogene Akteure mit unterschiedlichem (fachlichen) Hintergrund miteinander in Austausch zu bringen [Ru14]. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer diskutierten insbesondere über konkrete Maßnahmen, die den Betriebsvergleich beschleunigen und zugleich effizienter

gestalten könnten. Darüber hinaus wurden Teilnahmemhemmnisse debattiert und diesbezügliche Lösungsmöglichkeiten abgewogen. Zentrale Anforderungen an den Betriebsvergleich, die in den Workshops herausgearbeitet wurden, wurden anschließend in einem Prototyp umgesetzt.

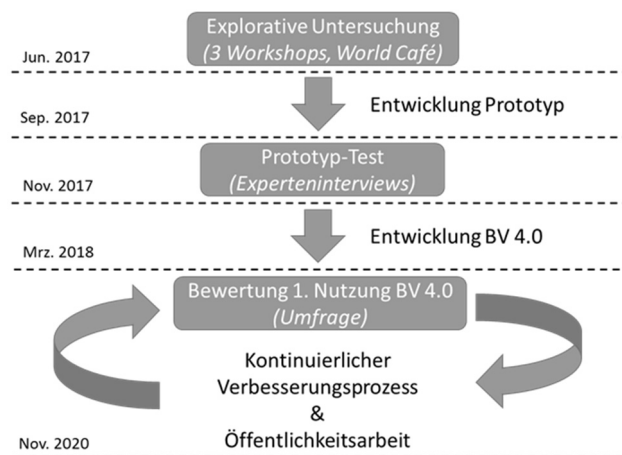


Abb. 1: Ablauf und zeitliche Einordnung der drei Untersuchungsphasen „Explorative Untersuchung“, „Prototypentestung“ und „Bewertung“

Nach der ersten, explorativen Untersuchungsphase wurden im Anschluss die Bedürfnisse der Unternehmerinnen und Unternehmer konkreter untersucht. Ziel dieser zweiten Phase war zum einen, den Informationsbedarf seitens der Unternehmen präziser zu erfassen, zum anderen sollte der auf Basis der Workshops entwickelte Prototyp einer ersten Testung unterzogen werden. Zu diesem Zweck wurden deutschlandweit 88 Unternehmen aller gartenbaulichen Sparten befragt. Mit leitfadengestützten Interviews wurde auch in der zweiten Phase eine qualitative Untersuchungsmethode gewählt. Dadurch wurde sichergestellt, dass differenzierte Meinungen Berücksichtigung fanden.

Die Ergebnisse aus der ersten und zweiten Untersuchungsphase wurden im Anschluss aufbereitet und in einem Workshop mit Unternehmen und Beratung, die an den vorangegangenen Workshops teilgenommen hatten, diskutiert. Ziel war es, die nächsten Entwicklungsschritte zu priorisieren. Die Anforderungen der Unternehmen und der Beratung wurden anschließend in einer Online-Anwendung (Betriebsvergleich 4.0) umgesetzt, die seit März 2018 freigeschaltet ist. Für eine Evaluation kann die Nutzungsstatistik herangezogen werden. Zusätzlich werden die ersten Erfahrungen der Nutzerinnen und Nutzer des Betriebsvergleichs 4.0 in einer Umfrage erhoben, die beim Abmelden aus der Anwendung aufgerufen wird und darauf abzielt, weitere Verbesserungsbedarfe und gleichzeitig Teilnahmemhemmnisse zu identifizieren.

Um die Teilnahme am Betriebsvergleich 4.0 und damit an der abschließenden Bewertung der Anwendung zu erhöhen, werden über intensive Öffentlichkeitsarbeit Gartenbauunternehmen und ihre Beratung angesprochen und Zugangsdaten versandt. Der Betriebsvergleich 4.0 wird dabei kontinuierlich entsprechend der Rückmeldungen der Nutzerinnen und Nutzer verbessert und weiterentwickelt. Die Projektlaufzeit endet Dezember 2020.

3 Ergebnisse

Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Workshops heben die Wichtigkeit eines spartenübergreifenden Systems heraus. Als zentrale Hemmnisse einer Teilnahme am bisherigen Betriebsvergleich des ZBG wurden die geringe Bekanntheit und der späte Zeitpunkt der Verfügbarkeit der Auswertungen genannt. Die Jahresabschlüsse, die in der Regel als Datengrundlage für den Betriebsvergleich herangezogen werden, liegen den Unternehmen oftmals erst einige Monate nach Bilanzstichtag vor. Zusätzlich wird die Auswertung dadurch verzögert, dass sie aus Gründen der Anonymität nur über einen Mittler (z. B. betriebswirtschaftliche Berater oder Steuerberater) zum Unternehmen weitergeleitet werden kann. Außerdem wurde der hohe zeitliche Aufwand für die Standardisierung der Jahresabschlüsse beklagt, welche für die Vergleichbarkeit der Unternehmen essentiell ist. Als ein weiteres zentrales Hemmnis einer Teilnahme wurde die subjektiv empfundene geringe Vergleichbarkeit des eigenen Unternehmens identifiziert. Daraus wurde abgeleitet, dass die Attraktivität von sogenannten Erfahrungsaustauschgruppen (ERFA-Gruppen) höher ist, in denen sich ähnlich strukturierte Unternehmen zusammenschließen.

Als zentrale Anforderungen an ein Onlinesystem wurden unter anderem der Datenschutz und die Anonymität der teilnehmenden Unternehmen herausgestellt. Darüber hinaus war es den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Workshops wichtig, dass die Ergebnisse des Betriebsvergleichs für nicht fachkundige Nutzerinnen und Nutzer einfach und übersichtlich dargestellt werden und die Möglichkeit zur Einbindung einer Beraterin bzw. eines Beraters für eine tiefergehende Analyse bei identifizierten Schwierigkeiten besteht. Des Weiteren wurde als Ergebnis festgehalten, dass für die Unternehmensführung neben der Analyse von Jahresabschlüssen auch kurzfristige Auswertungen von Halbjahren, Quartalen oder sogar Monaten benötigt werden, um Aussagen über den Verlauf einzelner Saisons treffen zu können. Außerdem wurde für eine effiziente Datenverarbeitung eine Schnittstelle zu der Buchhaltungssoftware des Unternehmens oder der Steuerkanzlei angeregt. Schließlich wurde vorgeschlagen, virtuelle ERFA-Gruppen zu ermöglichen, um diese Gruppen für den Betriebsvergleich zu gewinnen.

Der auf Basis der vorgestellten Ergebnisse der Workshops programmierte Prototyp des Betriebsvergleichs 4.0 fokussierte auf eine übersichtliche Auswertung der eingegebenen Daten auf einer Cockpit-Seite. Diese Auswertung wurde von den interviewten Unternehmen weit überwiegend (92 %) mit gut oder besser bewertet. Den Aufbau dieser Auswertung fanden 82 % logisch und verständlich. Es wurde allerdings auch ein weiterer Unter-

stützungsbedarf artikuliert, der zum Beispiel in Form eines Glossars oder übersichtlicheren Erläuterungstexten umzusetzen sei. Außerdem wurde neben der automatischen Zuordnung zu einer Vergleichsgruppe eine individuelle Auswahlmöglichkeit von Vergleichsbetrieben gewünscht. Die Jahresabschlüsse liegen in den Unternehmen im Mittel nach 5,2 Monaten vor. Durch den mitunter großen zeitlichen Verzug zwischen Bilanzstichtag und Erhalt des Jahresabschlusses (max. 20 Monate) wurde die zusätzliche Verwendung von unterjährigen Daten von insgesamt 57 % der befragten Unternehmen gewünscht. Ein Viertel der Unternehmen kann sich vorstellen, die Daten selbst einzugeben. Die übrigen Befragten möchten mit dieser Tätigkeit die Steuerbüros oder die betriebswirtschaftliche Beratung betrauen. Schlussendlich können sich 70 % der befragten Personen eine zukünftige Teilnahme am Betriebsvergleich 4.0 vorstellen.

Die in den ersten Untersuchungsphasen identifizierten Teilnahmemhemmnisse und Anforderungen der unterschiedlichen Gruppen wurden für den Priorisierungsworkshop aufgearbeitet und diskutiert. Auf diesem Workshop wurde als Ergebnis festgehalten, dass eine Online-Anwendung prinzipiell geeignet ist, den Betriebsvergleich zu beschleunigen und effizienter zu gestalten. Für eine Nutzung sollte zunächst eine Nutzerauthentifikation entwickelt werden, welche eine anonyme Teilnahme ermöglicht. Dazu wurden u.a. Mittler-Zugänge geschaffen, mit welchen Zugangscodes für teilnahmewillige Unternehmen erstellt werden können, aber auch eine eigenständige Nutzung des Betriebsvergleichs 4.0 wurde vorgesehen. Mit diesem Entwicklungsstand wurde der Betriebsvergleich im März 2018 zur Nutzung freigeschaltet. Als ein weiterer wichtiger Entwicklungsschritt wurde die effiziente Datenübernahme aus der Buchhaltungssoftware der Steuerkanzleien identifiziert. Dazu wurde eine Importfunktion entwickelt, welche die Übernahme von Summen- und Saldenlisten aus der Buchhaltungssoftware der Steuerkanzleien ermöglicht. Weitere entscheidende Entwicklungen waren die unterjährigen Auswertungen, wodurch den Unternehmen relevante Auswertungen zeitnah und mehrmals im Jahr zur Verfügung stehen, sowie die Gruppenfunktion, durch welche ERFA-Gruppen zu einer Teilnahme motiviert werden. In den vergangenen Monaten wurden diese Funktionen den Nutzern bereitgestellt. Die Möglichkeit einer individuellen Auswahl der Vergleichsgruppe ist noch in der Entwicklung (Stand November 2019). Darüber hinaus wurden spartenspezifisch detaillierte Auswertungsmodule wie eine Betriebszweigabrechnung für Spargel- und Beerenobstbetriebe umgesetzt, um den spezifischen Anforderungen einzelner Nutzergruppen besser gerecht zu werden.

Seit der Freischaltung der Website im März 2018 sind insgesamt 354 Zugangsdaten an interessierte Unternehmen verschickt worden. Diese wurden in erster Linie auf gärtnerischen Veranstaltungen und über Verbände angesprochen. Außerdem haben 45 Steuerkanzleien und 36 Beraterinnen und Berater einen Mittler-Zugang mit erweiterten Rechten beantragt. Diesen Mittlern kommt auch beim Betriebsvergleich 4.0 in mehrfacher Hinsicht eine besondere Bedeutung zu. Sie haben zum einen die Aufgabe, die Anonymität der teilnehmenden Unternehmen zu gewährleisten und die Dateneingabe zu übernehmen, zum anderen kann diese Nutzergruppe eine wichtige Funktion als Multiplikator übernehmen.

Darüber hinaus wurden Zugangsdaten an zwölf Bildungseinrichtungen wie zum Beispiel Fachschulen und Hochschulen verschickt, mit dem Ziel, dass zukünftige Unternehmensinhaberinnen und -inhaber frühzeitig mit dem System vertraut gemacht werden.

4 Fazit und Ausblick

Ziel des Projekts ist es, den Betriebsvergleich zu stärken und für die Unternehmensführung attraktiv zu gestalten. Durch den angewandten partizipativen und explorativen Ansatz konnten zahlreiche Teilnehmemhemmnisse der Unternehmen sowie ihrer Beratung identifiziert werden. Dies sind u. a. der hohe zeitliche Aufwand für die Standardisierung der Jahresabschlüsse und die geringe Aktualität der Auswertung. Diese Ergebnisse flossen in die Entwicklung der Online-Anwendung Betriebsvergleich 4.0 ein. So wird nun neben der Auswertung von Jahresabschlüssen auch die Auswertung von unterjährigen Daten auf BWA-Basis ermöglicht. Die Eingabe der Daten wird durch eine Importfunktion erleichtert, welche ein effizientes Einlesen von Summen- und Saldenlisten ermöglicht. Darüber hinaus wurden zahlreiche weitere Anforderungen der Nutzergruppen aufgenommen und umgesetzt. Der Betriebsvergleich ist seit März 2018 unter www.bv-gartenbau.de kostenfrei nutzbar. Die Attraktivität des Systems wird noch bis in die zweite Hälfte 2020 durch eine Umfrage unter den Anwenderinnen und Anwendern bewertet. Zeitgleich werden weitere Anregungen technisch umgesetzt und die Bekanntheit des Systems durch intensive Öffentlichkeitsarbeit erhöht.

Literaturverzeichnis

- [BI05] Brown, J.; Isaacs, D.: *The World Café: Shaping our futures through conversations that matter*. Berrett-Koehler, San Francisco, 2005.
- [IH19] Isaak, M.; Hübner, S.: *Der Gartenbau in Deutschland – Auswertung des Gartenbaumoduls der Agrarstrukturerhebung 2016*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, 2019
- [Ko12] Kölbl, C.: *Ein ökonomisches Betriebsmodell für den Produktionsgartenbau : Möglichkeiten der Modellierung mit Jahresabschlussdaten*. Hannover: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek, 2012.
- [Ru14] Ruppert-Winkel, C. et al.: *Das World Café als Integrationsinstrument in der transdisziplinären Nachhaltigkeitsforschung*. GAIA 23/3 (2014), S. 243-252, 2014
- [ZBG07] ZBG, Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V.: *Kennzahlen für den Betriebsvergleich im Gartenbau*. 50. Jahrgang, Hannover, 2007
- [ZBG18] ZBG, Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V.: *Kennzahlen für den Betriebsvergleich im Gartenbau*. 61. Jahrgang, Hannover, 2018

Evaluation of Soil Data Interpolation Methods

Mirjam Mattei¹, Francesco Argento^{1,2} and Marianne Cockburn¹

Abstract: Applying geostatistical interpolation methods that predict soil properties of the surrounding area may present an efficient solution to create interpolation maps for site-specific field management. These statistical methods produce different distributions of interpolated data. According to the data type, different methods are appropriate. In this study, we compared Kriging and Inverse Distance Weighting to determine the potential application within management zones. Therefore, we interpolated soil mineral nitrogen content (N_{\min}) data. We evaluated the accuracy of real vs. predicted data by bootstrapping and considering the standard error. Both interpolation methods were able to predict the N_{\min} content with a root mean square error of below 0.025.

Keywords: Interpolation, site-specific fertilisation, management zones, N_{\min}

1 Introduction

Overfertilization of soils presents a main cause for nitrogen (N) leaching into the environment and has been sharply criticized by society. Farmers, however, depend on high yields, and therefore, apply standard amounts of fertiliser to their fields; for winter wheat in Switzerland usually in three split applications. Uprising technologies now allow to apply fertiliser site-specifically. Kindred et al. [Ki15] reported a large spatial variation of soil N supply (120, 75 and 60 kg/ha), resulting in a spatial variation of fertilizer recovery between 30 and 100% in wheat fields and thus demonstrating the large potential. Hereby it is essential to apply the fertilizer according to the nutritive state of the plants and the amount of N already stored in the soil. This allows increasing N use efficiency and decreasing N leaching. The nutritive state of the plant can be derived from satellite and drone imagery. However, due to its nature of depending on the plants reflectance, the spectral information is rather useful for the second and third fertilizer application where canopy cover is less impacted by soil background.

The status of N_{\min} concentration in the soil can only be derived from soil samples. Hereby, soil samples are taken at the beginning of the vegetation period, but as these samples are expensive, it is of interest to interpolate the data from the soil samples into a map, so that higher spatial information can be achieved from fewer samples [Na17]. “Interpolation is the process of predicting the value of attributes at unsampled sites from measurements made at point locations in the same area or region” [BM98]. Nawar [Na17]

¹ Agroscope, Competitiveness and System Evaluation, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Switzerland,
Mirjam.Mattei@agroscope.admin.ch; Marianne.Cockburn@agroscope.admin.ch,
Francesco.Argento@agroscope.admin.ch

² ETH, Crop Science, Universitätsstrasse 2, 8092 Zürich, Schweiz

describes that the classification of a field into specific areas that are similar would allow decreasing or correcting for soil variability and can be defined as management zones. An interpolation map would allow the farmer to create a fertilization map to support the first split fertilisation. However, the process of creating management zones requires expert skills. To make this process easier and applicable to farmers, Albornoz et al. [A117] have developed a software that automatically defines management zones and creates ESRI-Shapefiles that are needed to create application maps. Such interpolation maps can be generated with a variety of different interpolation methods such as inverse distance weighting (IDW), kmeans clustering or most commonly kriging (KRIG). Only few studies have evaluated the quality of these interpolated maps. In the current study, we aimed to compare the ability of IDW and KRIG to predict the spatial variation of Nmin values in fields of about 2 ha.

2 Material and Methods

The experimental procedures were carried out at the Swiss Future Farm in Tänikon Ettenhausen, Switzerland (47.4790021°N, 8.9059287°E) 500 meters above sealevel. 1170 mm annual rainfall and an average annual temperature of 8.6°C (1970-2018) characterize the climate. The experimental fields were part of a trial comparing the effect of variable rate nitrogen application to standard application in winter wheat [Ar19].

2.1 Experimental Procedures

Soil samples for the comparison of real vs. predicted data were derived from one field where 18 soil samples were taken at depths of 0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm (Field 2018). Soil samples for the interpolation maps were taken in 6 different locations across the field on 3 fields (Table 1) (Fig.1). From each of these soil samples, 3 subsamples were analysed from soil depths of 0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm. In the current study, we focused on the data from the 0-30 cm soil sample because it is more representative of the initial Nmin pool available for the small plants in early spring.

Field Properties	Field 2018	Field 1	Field 2	Field 3
Area (ha)	2.2	1.9	1.6	2.5
Soil Type	Gleysol	Luvisol and Alisol	Gleysol and Alisol	Cambisol

Tab. 1: Description of field properties

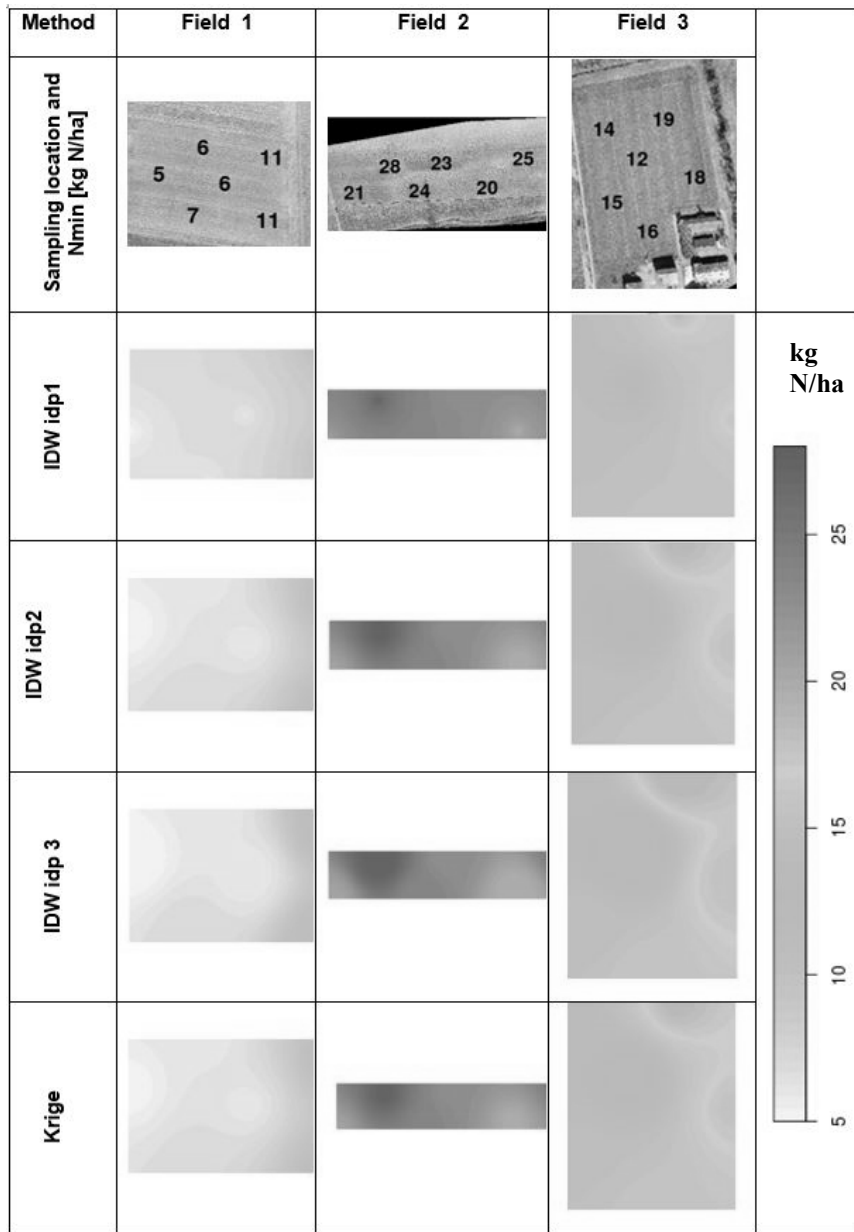


Fig. 1: Location and levels of Nmin samples along with interpolated Nmin data. Interpolation methods used were Krige and the Inverse Distance Weighting (inverse distance weighting power (idp 1, 2 and 3). Data from three test fields at 0-30 depth.

2.2 Data Processing and Analysis

The data were initially pasted into an excel sheet and further processed in R version 3.6.1. The Packages “sp” (for managing spatial data), “rgdal” (for reading shapefiles), “gstat” (for interpolation functions and statistical analysis of geospatial data) and “raster” (for handling raster format (plotting, distance between points)) were used to perform the analysis. For the comparison of real vs. predicted data, we performed a 1000 fold bootstrap, always removing one point from the sample, which was then predicted, to find the interpolation method that generated the smallest root mean standard error of real vs. predicted data.

3 Results

The within-field variation was much smaller than the between-field variation (Figure 1). Interpolated maps created with IDW inverse distance weighting power (IDP) 1 predicted the highest levels of soil N_{\min} . The availability of N_{\min} in all fields was generally low, ranging from 5-28 kg N/ha. Field 1 had the lowest values, whereas Field 2 and F3 showed higher N availability. The confidence interval of Field 1 is presented in Figure 2. The Confidence Interval (CI) in this field varied between 0.05 and 0.3. The CI indicate that the method performs less accurately, where we find bigger differences between N_{\min} soil samples.

The root mean standard error (RMSE) of true vs. predicted interpolation results hardly differed between IDW and KRIG (Figure 3, KRIG will be presented at the conference). The RMSE always remained below 0.025 in both methods.

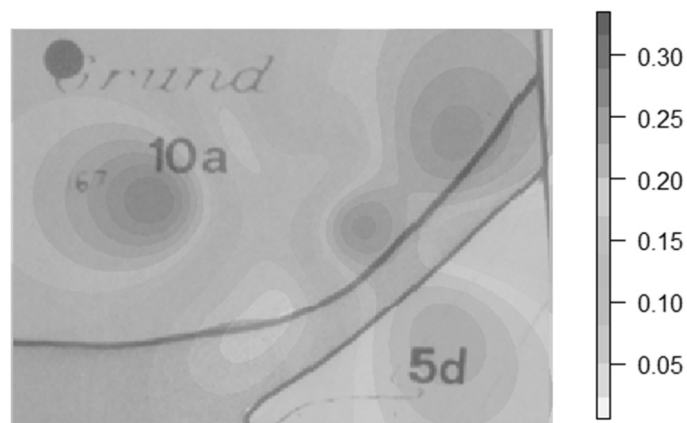


Fig. 2: Interval of Confidence map for Field 1 with Krige interpolation

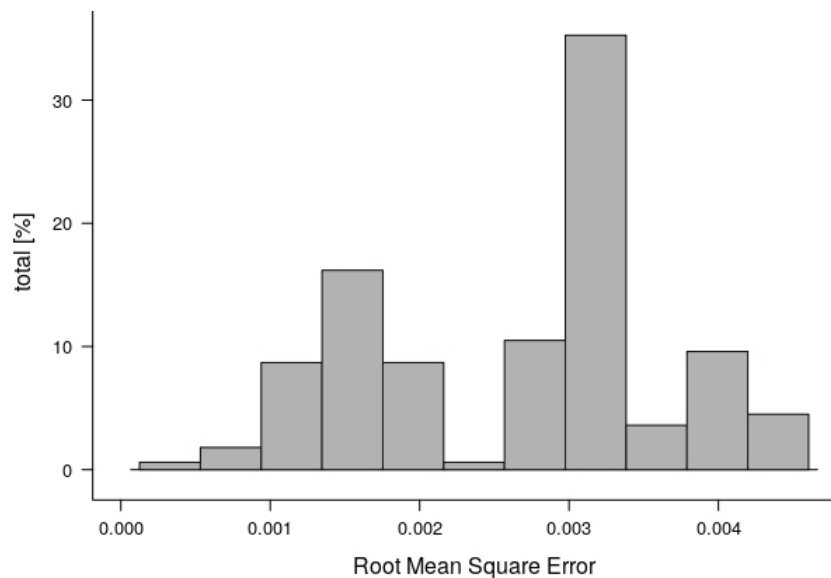


Fig. 3: Root mean standard error for predicted vs. true data. Result shows are Inverse Distance Weighting with inverse distance weighting power 2.

4 Discussion

The results indicate that both methods IDW and KRIG are suitable to create interpolated maps for the definition of management zones. Despite inverse distance weighting giving the option to put more weight on neighbouring values, both methods were more precise than the current fertiliser application technology allows applying. This is in line with Borges [Bo16] who compared a variety of interpolation methods and found IDW and KRIG to perform well. Borges [Bo16] evaluated the suitability of a variety of different interpolation methods and found that IDW, KRIG as well as multivariate regression with interpolation of residuals by IDW and KRIG have performed best in estimating the distribution of precipitation (Correlation coefficient between measured and predicted values 0.95, 0.94, 0.94 and 0.95, respectively). However, Borges [Bo16] stress that these methods all have a deterministic component and therefore advise to consider standard error maps when applying geostatistical interpolation methods. In our study, the RSME between true and predicted data were below 0.025 for both methods. The CI maps indicated a range of variation within the soil maps, giving some insight into the accuracy of the interpolated maps. However, in a bigger picture, this study gives much more practical implications on the definition of management zones for small fields. The variation within fields was minor with a maximum Nmin variation of 8kgN/ha in Field 2,

whereas the maximum Nmin variation between fields was 25kg/ha. This indicates that, even for small fields of about 2 ha with little variation, it would already be beneficial to know the Nmin status of every field by the mean of a reduced number of soil samples. This would allow adjusting the first split fertilizer application field specifically, based on the available N supply and would be possible without implementing additional machinery and as such investment. However, questions open regarding the definition of thresholds for the different management zones or how to set the minimum number of samples per area to achieve accurate representation of the N variability remain.

5 Conclusion

Both interpolation methods used in this study performed well in predicting Nmin values and creating interpolated maps. Thus, in this study, both methods, Krige and Inverse Distance Weighting, could be used to create interpolated maps as a base for supporting site-specific N fertiliser application in winter wheat. However, the variation within the small fields was minor and it may be sufficient to consider the individual fields Nmin status.

References

- [Ki15] Kindred, D. R., Milne, A. E., Webster, R., Marchant, B. P. & Sylvester-Bradley, R. Exploring the spatial variation in the fertilizer-nitrogen requirement of wheat within fields. *The Journal of Agricultural Science* 153, 25-41, 2015.
- [Na17] Nawar, S., Corstanje, R., Halcro, G., Mulla, D. & Mouazen, A. M. in *Advances in Agronomy* Vol. 143 (ed Donald L. Sparks) 175-245, 2017.
- [BM98] Burrough, P. & McDonnell, R. *Principle of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, 17-34, 1998.
- [Al17] Albornoz, E., Kemerer, A. C., Galarza, R., Mastaglia, N., Melchiori, R., Martinez, C.E. Development and evaluation of an automatic software for management zone delineation. *Precision Agriculture*, 2017.
- [Ar19] Argento, F., Anken, T., Liebisch, F. & Walter, A. Crop imaging and soil adjusted variable rate nitrogen application in winter wheat. *Proceedings 12th European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, France, 8-11 July, 511-519, 2019.
- [Bo16] Borges, P. d. A., Franke, J., da Anunciação, Y. M. T., Weiss, H. & Bernhofer, C. Comparison of spatial interpolation methods for the estimation of precipitation distribution in Distrito Federal, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 123, 335-348, 2016.

Investigating the adoption of smartphone apps in crop protection

Marius Michels¹, Vanessa Bonke¹ and Oliver Mußhoff¹

Abstract: Based on an online survey of 207 German farmers conducted in 2019, we investigated farmers' adoption decision for crop protection smartphone apps based on the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) framework applying partial least squares equation modelling and a binary logit model. Descriptive results show that 95 % of the surveyed farmers use a smartphone, but only 71 % use a crop protection smartphone app. Apps providing information about weather, pest scouting and infestations forecasts are perceived as most useful by the majority of farmers. However, reported use fell short of reported usefulness. All hypotheses of the UTAUT model could be verified. 73 % of the variation in the behavioral intention to use a crop protection smartphone app and 50 % of the variation in the actual adoption is explained by the model.

Keywords: crop protection, partial least squares structural equation modelling, precision agriculture, smartphone, smartphone apps, unified theory of acceptance and use of technology

1 Introduction

To facilitate a more sustainable agricultural intensification, recent research results and agronomic knowledge in form of practical recommendations need to be transferred to the farmers [SK17]. One way to transfer this knowledge is the use of decision support tools (DST) in crop protection of which smartphone based DST, i.e. apps, are one of the most recent category. Apps can assist farmers in identifying weeds, pests and can also serve as aid in the calculation of spray application rates [Bo18]. By guiding a more targeted management strategy, the smartphone based DST have the potential to increase sustainability of agricultural productivity by reducing negative external effects. While the adoption of smartphones in agriculture [Mi19] and the willingness to pay for crop protection apps [Bo18] has been already studied, no study has focused on the initial adoption of crop protection apps. To investigate psychological factors influencing the adoption of crop protection smartphone apps, the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT) framework was applied [Ve03]. Furthermore, it has not been studied yet which app functions are perceived as useful and which are actually used by farmers. However, evaluating usefulness and use simultaneously provides important insights which can direct future development of smartphone based DST in crop protection since it directly shows the contrast between expectations and actual use.

¹ Georg-August-University Goettingen, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Farm Management Group, Germany, marius.michels@agr.uni-goettingen.de, vanessa.bonke@agr.uni-goettingen.de, oliver.musshoff@agr.uni-goettingen.de

2 Theoretical framework

This study is based on a modified UTAUT model for the adoption of crop protection smartphone apps. The UTAUT model was developed by Venkatesh et al. [Ve03] as an integrative approach and combines variables from eight distinct theories. In the UTAUT model, performance expectancy (PE) refers to the extent to which an individual believes that the use of a technology facilitates performing a task or improves his or her job performance. Effort expectancy (EE) is defined as the degree of ease an individual associates with using a system [Ve03]. Venkatesh et al. [Ve03] define social influence (SI) as the extent to which an individual believes that important people in their surrounding think that he or she should use a new technology. Facilitating conditions (FC) are characterized as the degree to which an individual perceives that the present technical infrastructure supports the use of the technology in question and has a direct influence on the adoption decision. The four core constructs influence the behavioral intention to use a technology (BI) which ultimately has a positive effect on the actual adoption decision. Furthermore, effects between EE, SI and PE can be expected. These relationships are shown in the following hypotheses and also in Fig. 1.

H1: Performance expectancy of crop protection smartphone apps has a positive effect on the behavioral intention to use crop protection smartphone apps

H2a: Effort expectancy of crop protection smartphone app use has a positive effect on the behavioral intention to use crop protection smartphone apps

H2b: Effort expectancy of crop protection smartphone app use has a positive effect on performance expectancy of crop protection smartphone apps

H3a: Social influence has a positive effect on the behavioral intention to use crop protection smartphone apps

H3b: Social influence has a positive effect on performance expectancy of crop protection smartphone apps

H4a: Facilitating conditions have a positive effect on the adoption decision for crop protection smartphone apps

H4b: Facilitating conditions have a positive effect on the behavioral intention to use crop protection smartphone apps

H5: Behavioral intention to use a crop protection smartphone app has a positive effect on the actual crop protection smartphone app adoption

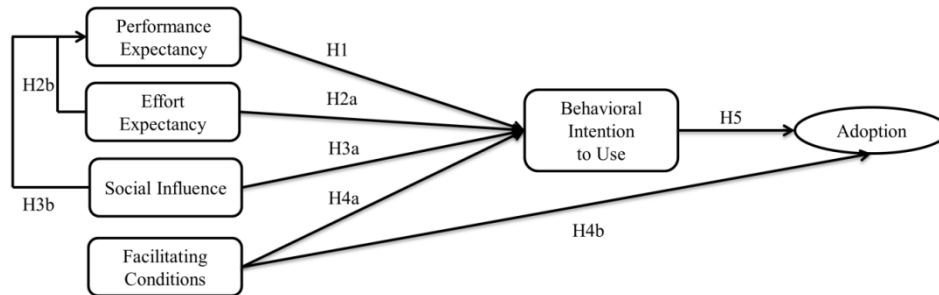


Fig. 1: Proposed modified UTAUT model for the adoption of crop protection smartphone apps

3 Material and methods

An online survey addressed to German farmers was conducted in 2019 using a structured questionnaire. 207 usable records remain after the removal of incomplete surveys. For the estimation of the UTAUT model, participating farmers were asked to evaluate 13 randomized statements using an equally-spaced 5-point Likert scale. The statements serve as the indicators to estimate the constructs of the UTAUT model. Furthermore, farmers had to evaluate which app functions they perceive as useful and which they are actually using. Lastly, farmers were asked to provide socio-demographic and farm related information.

In order to estimate the previously described UTAUT model (see Figure 1), we used structural equation modelling, since we wanted to simultaneously estimate the relationship between constructs as well as the relationship between indicators and constructs. Specifically, we applied partial least squares (PLS) structural equation modelling, as this approach is less restrictive concerning the structure of the data than covariance-based structural equation modelling, which requires normally distributed data. Furthermore, this approach allows the use of constructs with only one or two items. It aims to maximize the explained variance of the endogenous variables. The model consists of two parts: the outer (relationship between indicator and construct) and the inner model (causal relationship between constructs) [Ha16]. Following Hair et al. [Ha16], the evaluation of PLS structural equation modelling results follows two steps. In the first step, the outer model is assessed followed by the assessment of the inner model in the second step. For the assessment of the outer model of the estimated UTAUT model indicator reliability (Loadings), internal consistency reliability (composite reliability, CR), convergent validity (average variance extracted, AVE), and discriminant validity (Heterotrait-Monotrait ratios, HTMT) are tested. For the evaluation of the inner model, explained variance (R^2) and the out-of-sample predictive relevance (Stone-Geisser criterion Q^2) are estimated. Q^2 is estimated by using blindfolding with an omission distance of seven. Since no assumption about the distribution of the data is needed for PLS structural equation modelling, results for hypotheses testing of the path

coefficients of the inner model are derived from a re-sample bootstrapping procedure. At least 5,000 subsamples should be applied to generate t-values to allow for hypothesis testing. To avoid biased standard errors by using a dummy variable as an endogenous variable in PLS structural equation modelling, we applied a binary model. For dichotomous variables (1 = adoption of crop protection smartphone app; 0 = non adoption) probit or logit models can be used. Assuming a standard logistic distribution of the error term, we applied a binomial logit model. In specific, the effect of BI and FC on the actual adoption decision (Figure 1) was modelled by implementing the latent factor scores for BI and FC as the independent variables and the dummy variable for the actual adoption decision as the dependent variable in a binary logit model.

The proposed UTAUT model shown in Fig. 1 was estimated using partial least squares structural equation modelling and a logistic regression in SmartPLS 3 [RWB15] and STATA, respectively.

4 Results and discussion

The sample consists of younger (mean = 39.13 years), well-educated farmers (mean = 52 % have a university degree) managing larger farms (mean = 297.90 hectares of arable land) than the German average (53 years old; 12 % with a university degree; 60 hectares of arable land). However, they can be seen as the core group for potential adopters and long-time users of such digital technologies.

Function of crop protection smartphone apps	Percent reporting considered as useful	Percent reporting already in use
Weather information	0.77	0.83
Pest scouting	0.75	0.52
Infestation forecast	0.64	0.24
Field file/ documentation	0.62	0.39
BBCH determination	0.51	0.34
Product choice	0.51	0.11
Calculation of application quantity of fertilizer	0.44	0.15
Calculation of application quantity of spraying product	0.40	0.10
Recommendations on spray nozzles	0.39	0.08
Planning of crop rotation	0.38	0.07
Manufacturer recommendation	0.27	0.05
Other function	0.08	0.06

Tab. 1: Responses regarding the perceived usefulness and actual use of apps related to various crop protection topics. All figures for the share of farmers who have a smartphone (Variable Smartphone = 1) (n = 198)

With regard to the function of crop protection smartphone apps (Table 1), forecasting, monitoring and documentation features in particular, but also calculation aids and supporting information on product or nozzle choices were perceived as useful. One exception is the result for apps providing weather information. Seventy-seven percent of the farmers reported them as useful, while 83 % stated that they are using them. This result could be explained by the fact that weather apps are installed by default on most smartphones, which also explains the fact that 72 % of the farmers reported the actual use of crop protection smartphone apps, but 83 % use a weather app (Table 1). Furthermore, some farmers might not have considered the weather app explicitly as a crop protection smartphone app. Indicator loadings are above the common cut-off level of 0.7 with the lowest loading for one indicator with 0.709. All indicator loadings are statistically significant. Further proof of the validity of the outer reflective indicators can be found in the values of CR and AVE, which all exceed the cut-off levels of 0.7 and 0.5, respectively. Lastly, all values for the HTMT ratios are below the cut-off level of 0.9 also proving the discriminant validity of the outer model [Ha16]. Therefore, the overall validity of the outer model is proofed.

<i>PLS structural equation model¹⁾</i>				
H₀		Path coefficients	t-statistic²⁾	Supported H₀?
PE→BI	H1	0.521***	7.532	Yes
EE→BI	H2a	0.244***	3.959	Yes
EE→PE	H2b	0.633***	14.512	Yes
SI→BI	H3a	0.184**	3.158	Yes
SI→PE	H3b	0.268***	5.195	Yes
FC→BI	H4a	0.008	0.210	No

<i>Binary logit model³⁾</i>				
H₀		Odds ratio	Std. Error	Supported H₀?
FC→Adoption	H4b	1.613*	0.322	Yes
BI→Adoption	H5	5.065***	1.196	Yes

PE = Performance expectancy, EE = Effort expectancy, SI = Social influence, BI = Behavioral intention to use, FC = Facilitating conditions

¹⁾ PE ($R^2 = 0.654$, $Q^2 = 0.421$), BI ($R^2 = 0.732$, $Q^2 = 0.623$)

²⁾ Bootstrap results of 5,000 subsamples

³⁾ Log likelihood = -82.501; LR $\chi^2(2) = 91.03$ ***; Nagelkerke Pseudo $R^2 = 0.50$; Pearson $\chi^2(72) = 75.58$, p-value = 0.36; Hosmer-Lemeshow $\chi^2(8) = 10.74$ p-value = 0.21; Correctly classified = 84.54 %

*p-value < 0.05, **p-value < 0.01, ***p-value < 0.001

Tab. 2: Estimation results of the UTAUT model (n = 207)

As shown in Table 2, all hypotheses except for H4a could be verified. The path coefficients PE→BI and EE→PE are statistical significant. Path coefficients can be

interpreted as standardized beta coefficients. The results implicate that the apps should provide a clear benefit for the farmer to increase the likelihood of initial uptake. The value of an app for a farmer could be increased with the option to personalize the information provided by the app based on farm location and crop specialization. Furthermore, the positive effect of EE on PE implies that to fully explore the benefits of a crop protection app, this app has to be easy to handle and well structured. An easy to handle app also increases the BI to use such an app as shown with the statistical significant path coefficient $EE \rightarrow BI$. The results for the hypotheses testing of H3a and H3b imply that farmers' colleagues have an influence on individual farmers' adoption decision. Young, well-educated farmers are the core group for the adoption of smartphones [Mi19]. Marketing activities of crop protection apps should focus on this core group since they can influence non-adopters in order to widespread adoption. FC have a positive effect on the adoption decision (H4b). As most farmers will use crop protection apps in the field, mobile internet coverage could be barrier for the usage. Thus, developers and providers should consider making the app also functional with an offline modus. As expected, BI has a positive effect on the adoption decision [Ve03].

5 Concluding remarks

This study investigates underlying psychological factors for the adoption of crop protection smartphone apps by applying a UTAUT model to a sample of 207 German farmers collected in 2019. Since adoption fell short of expectations, the statistical significant results of this study provide several implications for developers and providers for further development and improvement of crop protection smartphone apps which can facilitate sustainable intensification in agriculture.

References

- [Bo18] Bonke, V. et al.: Willingness to pay for smartphone apps facilitating sustainable crop protection. *Agronomy for Sustainable Development* 38, Article 51. 2018.
- [Ha16] Hair, J.F. et al.: *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage publications, Thousand Oaks, California, USA. 2016.
- [Mi19] Michels, M. et al.: Smartphone adoption and use in agriculture: Empirical evidence from Germany. *Precision Agriculture*, 1-23. 2019.
- [RWB15] Ringle, C.M.; Wende, S.; Becker, J.-M.: *SmartPLS3: Boenningsted, SmartPLS GmbH*. <https://www.smartpls.com/>. Accessed 26 April 2019. 2015.
- [SK17] Struik, P.C.; Kuyper, T.W.: Sustainable intensification in agriculture: The richer shade of green. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37, Article 39. 2017.
- [Ve03] Venkatesh, V. et al. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly* 27, 425-478. 2003.

Erfassung der räumlichen Variabilität von Boden- und Pflanzenparametern: Grundlage für die teilflächenspezifische N-Bilanzierung

Martin Mittermayer¹, August Gilg², Franz-Xaver Maidl¹ und Kurt-Jürgen Hülsbergen¹

Abstract: Die räumliche Variabilität von Bodeneigenschaften auf Ackerflächen bedingt ein unterschiedliches Pflanzenwachstum mit variierenden Erträgen und Nährstoffentzügen. Diese Heterogenität sollte bei der N-Düngung, aber auch bei der N-Bilanzierung berücksichtigt werden, denn bei ausgeglichener Stickstoffbilanz des Gesamtschlages können auf Teilflächen stark differenzierte N-Salden auftreten. Mit modernen Technologien wie der Ertragskartierung und Reflexionsmessungen mit Sensor wurden in dieser Arbeit auf einem Untersuchungsschlag teilflächenspezifische N-Bilanzen im 10 m x 10 m Raster berechnet. Durch die Bestimmung von Bodenparametern (C_{org} , N_i) an georeferenziert gewonnenen Bodenproben wurden Einflussfaktoren auf die variierenden N-Salden beschrieben. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass der N-Saldo eine große Schwankungsbreite (-116 bis +72 kg ha⁻¹) aufweist und Teilflächen mit hohen bzw. negativen N-Salden auftreten, obwohl die schlageinheitliche N-Bilanz nahezu ausgeglichen (+10 kg ha⁻¹) ist.

Keywords: precision agriculture, spatial variability, nitrogen surplus, geostatistics

1 Einleitung

Der N-Saldo der Stickstoffbilanz ist einer der wichtigsten Agrarumweltindikatoren [ST13]. Er beschreibt das Verlustpotenzial an reaktiven N-Verbindungen (NH₃, N₂O, NO₃⁻) auf unterschiedlichen Systemebenen wie z. B. Schlag, Fruchtfolge, Pflanzenbau, Tierhaltung oder Betrieb [Hü03]. In der Bundesrepublik Deutschland sind die flächenbezogenen N-Salden seit Jahren mit etwa 90 kg ha⁻¹ a⁻¹ auf zu hohem Niveau; dies führt zu umweltgefährdenden und klimarelevanten N-Emissionen sowie zu Konflikten mit dem Trinkwasserschutz [KCH10]. Um weitere schädliche N-Emissionen in die Umwelt zu vermeiden und dabei die Ertragsstabilität zu gewährleisten, muss die N-Effizienz deutlich gesteigert werden. Ein erfolgversprechender Ansatz zur Steigerung der N-Effizienz ist die sensorgestützte teilflächenspezifische N-Düngung unter Berücksichtigung differenzierter Ertragspotenziale [Sp16]. Aufgrund von

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85354 Freising, martin.mittermayer@tum.de; maidl@wzw.tum.de; huelsbergen@wzw.tum.de

² Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Mustererkennung und Software-Engineering, Vöttinger Straße 27, 85354 Freising, august.gilg@hswt.de

Bodenunterschieden und der Topografie weisen viele Ackerflächen eine hohe räumliche Variabilität der Erträge und N-Entzüge der Pflanzenbestände auf [Go03]. Allerdings ist trotz zunehmender Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit sensorgestützter N-Düngesysteme [Ma17] die schlageinheitliche Düngung immer noch die gängige landwirtschaftliche Praxis.

Wenn zur Ermittlung des N-Düngebedarfs der mittlere Ertrag des Schlages angenommen wird, kann dies auf heterogenen Schlägen dazu führen, dass (a) im Hohertragsbereich das Ertragspotenzial nicht ausgeschöpft wird und/oder die N-Entzüge der Pflanzen die N-Zufuhren übersteigen und die Boden-N-Vorräte abnehmen, (b) im Niedrigertragsbereich hohe N-Salden und Nitratverluste auftreten, ggf. auch Stickstoff im Boden akkumuliert wird [Hü17]. Aufgrund dieser Zusammenhänge ist anzunehmen, dass auf heterogenen Schlägen die N-Salden kleinräumig variieren. Unter diesen Bedingungen können selbst bei einer im Mittel des Schlages ausgeglichenen N-Bilanz auf Teilschlägen hohe N-Salden und N-Verlustpotenziale auftreten. 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 multispektraler Reflexionssensoren [MSH04], Satellitendaten [ES19] und Mähdrescher mit einer integrierten Ertrags erfassung [St02] zur Berechnung der Biomasse und N-Aufnahme von Pflanzenbeständen genutzt werden.

2 Material und Methoden

2.1 Datenerfassung

Die für die Untersuchungen notwendigen Boden- und Pflanzenparameter wurden in den Jahren 2018 und 2019 auf der 13 ha großen Ackerfläche „Bergfeld“ (Versuchsstation Roggenstein, bei Fürstenfeldbruck, TU München) erhoben. Die untersuchten Böden dieses Versuchsstandortes sind Cambisole mittlerer Güte. Im Mittel von dreißig Jahren (1981 bis 2010) betrug der Jahresniederschlag 954 mm und die Temperatur im Durchschnitt 8,5 °C. Das untersuchte Jahr 2018 zeichnete sich durch einen niedrigeren Jahresniederschlag (867 mm) und eine deutlich höhere Durchschnittstemperatur aus (10,1 °C). Der Winterweizen wurde als Fruchtart gewählt, da Weizen auf unterschiedliche Bodenqualitäten deutlich reagiert, die wichtigste Fruchtart mit der größten Anbaufläche in der BRD ist und viele experimentelle Daten zur Ertragsbildung und N-Effizienz von Weizen am Versuchsstandort vorliegen.

Zur Erfassung der Variabilität von Bodeneigenschaften wurden georeferenzierte Bodenproben gezogen für die Laboranalyse von organischen Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamt-Stickstoff (N_T) am 01.04.2019 sowie für die Bestimmung des Nitrat-N-Vorrats und des Wassergehalts am 09.04.2019. Um die Variabilität von Ertrag und N-Entzug als

Eingangsparameter der N-Bilanz räumlich differenziert zu erfassen, wurden Daten des Jahres 2018 der Mähdrescherertragsaufnahme, Biomassehandschnitten sowie von Reflexionsmessungen mit multispektralem Sensor verwendet.

2.2 Datenverarbeitung

Die Daten wurden in Raster gleicher Auflösung (10 m x 10 m, 1163 Rasterelemente) durch Interpolation mit dem Kriging-Verfahren [Ma63] überführt. Hierbei wurde zuerst ein Variogramm (Varianz der Daten nach Distanzklassen) der Daten erstellt, das den räumlichen Zusammenhang der Variable (Spatial auto-correlation effect) zeigt. Für die Datenanalyse wurden 10 m am Schlagrand weggeschnitten, um auszuschließen, dass Daten für Teilflächen ausgewertet werden, die nicht zum Ackerschlag gehören. 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 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) bestimmt:

$$\text{N-Saldo} = \text{N-Input} - \text{N-Output} \quad (1)$$

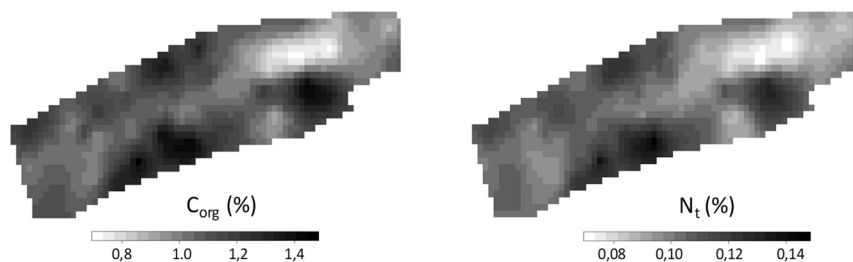
Der N-Input ist die Mineral-N-Menge für den Winterweizen, die auf der Untersuchungsfläche schlageinheitlich appliziert wurde (193 kg N ha^{-1}). Der N-Output entspricht dem Korn-N-Entzug. Der N-Entzug wurde bestimmt durch (a) Kornertrag nach Volumenstrommessung am Mähdrescher, multipliziert mit dem N-Gehalt im Korn aus Biomassehandschnitten und (b) über Reflexionsmessungen mit einem traktormontierten Sensor, Berechnung des Vegetationsindex REIP und Verwendung eines Algorithmus zur Schätzung der N-Aufnahme [Ma19]. Nebenprodukte (Stroh) wurden nicht geerntet und daher nicht als N-Output berücksichtigt.

Der N-Saldo wurde für jedes Rasterelement berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Räumliche Variabilität von Bodenparametern

Bei allen untersuchten Bodenparametern zeigte sich eine große Schwankungsbreite. Der C_{org} -Gehalt betrug 1,09 (0,67 – 1,49) %, der N_{t} -Gehalt 0,11 (0,07 – 0,17) % und der Nitrat-N-Vorrat 40,1 (25,3 – 63,6) kg ha^{-1} . C_{org} - und N_{t} -Gehalt wiesen ein ähnliches Verteilungsmuster auf (Abbildung 1). Der in den Bodenproben ermittelte Wassergehalt betrug 32 (25 – 38) g (100 g)⁻¹. Besonders eng korrelieren die C_{org} und N_{t} - Gehalte ($R^2 = 0,94$). Der Wassergehalt der Bodenproben weist eine mittlere Beziehung mit dem C_{org} und N_{t} -Gehalt auf ($R^2 = 0,42$ bzw. 0,51).

Abb. 1: „Bergfeld“ (13 ha): C_{org}-Gehalt und N_t-Gehalt

3.2 Teilflächenspezifische N-Bilanz

Die mit verschiedenen Methoden bestimmten N-Entzüge zeigen unterschiedliche Schwankungsbreiten – Sensor: 169 (101 – 269) kg ha⁻¹ bzw. Mähdrescher: 198 (121 – 309) kg ha⁻¹ (Abbildung 2). Der mithilfe der Fuhrwerkswaage ermittelte mittlere Korntrag betrug 7,9 t ha⁻¹, der mittlere Korn N-Entzug 157 kg ha⁻¹. Der teilflächenspezifische berechnete N-Saldo zeigte eine große Schwankungsbreite auf der Ackerfläche. Der N-Saldo auf Grundlage der Mähdrescher-Ertragsdaten betrug 10 (-116 bis + 72) kg ha⁻¹, der N-Saldo auf Grundlage des Sensors betrug 24 (-76 bis + 91) kg ha⁻¹.

Zwischen den beiden Methoden der Stickstoffbilanzierung nach Sensor- und Mähdrescherdaten wurde eine Beziehung von $R^2 = 0,58$ ermittelt. Die beiden Methoden zur Bestimmung der N-Entzüge zeigten Zusammenhänge mit den Bodenparametern. So weist die N-Aufnahme des Sensors eine Beziehung mit dem C_{org}-Gehalt von $R^2 = 0,31$; mit dem N_t-Gehalt von $R^2 = 0,36$ und dem Wassergehalt der Bodenproben mit $R^2 = 0,37$ auf. Der Mähdrescher mit dem C_{org}-Gehalt $R^2 = 0,36$; mit dem N_t-Gehalt $R^2 = 0,40$ und mit dem Wassergehalt der Bodenproben $R^2 = 0,30$.

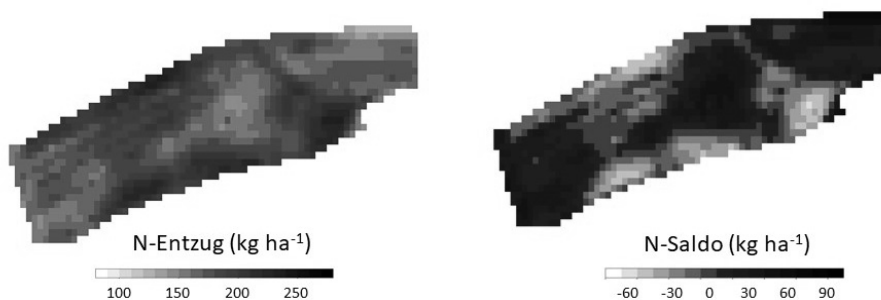


Abb. 2: „Bergfeld“ (13 ha): Mähdrescherertragserfassung: N-Entzug Korn und N-Saldo

4 Diskussion und Ausblick

Die Witterungsbedingungen des Jahres 2018 führten zu einer großen Variabilität der Erträge und N-Aufnahme (Abbildung 2), was durch die stark wechselnden Bodenbedingungen (Abbildung 1) und der daraus folgenden differenzierten Wasserverfügbarkeit zu erklären ist.

Die Untersuchungen zeigen eine hohe Variabilität der N-Salden auf einem einheitlich gedüngten Schlag. Das bedeutet, dass auch bei einer ausgeglichenen N-Bilanz umweltrelevante N-Verluste, z. B. Nitratausträge, auf Teilflächen auftreten können. Dies wird an den räumlich variablen N-Salden (-116 bis $+72$ kg ha⁻¹)³ bzw. (-76 bis $+91$ kg ha⁻¹)⁴ deutlich. Der durchschnittliche N-Saldo der Ackerfläche lag bei 10 kg ha⁻¹ bzw. 24 kg ha⁻¹ und weist eine nahezu ausgeglichene Bilanz auf. Die Teilflächen mit hohen bzw. negativen N-Salden werden bei einer schlageinheitlichen Bilanzrechnung somit nicht sichtbar.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Methodik *Mähdrescher-Ertrag multipliziert mit dem N-Gehalt der Biomassehandschnitte* die N-Aufnahme überschätzt (198 kg ha⁻¹) im Vergleich zur mittleren Korn N-Aufnahme, der mit dem durchschnittlichen Ertrag der Fuhrwerkswaage ermittelt worden ist (157 kg ha⁻¹). Dies kann an einer fehlerhaften Kalibrierung des Mähdreschers liegen [St02] oder an der Multiplikation eines Durchschnittswerts des N-Gehalts mit den Ertragsdaten des Mähdreschers. Der mittlere Korn N-Entzug berechnet aus Reflexionsdaten [Ma19] liegt mit 169 kg ha⁻¹ näher an der Realität.

Zudem zeigen die Ergebnisse eindrucksvoll, dass in den positiven N-Salden ein Einsparpotenzial der N-Düngungsmenge liegt und heterogene Ackerflächen teilflächenspezifisch gedüngt werden sollten. Mit einer sensorgestützten N-Düngung ist es möglich, während der Vegetation auf bereits überdüngte Teilflächen zu reagieren.

In diesem Beitrag wurde das Prinzip der teilflächenspezifischen N-Bilanzierung vorgestellt. In weiteren Untersuchungen werden wir analysieren ob, a) die in dieser Arbeit verwendeten Datenquellen und Methoden auch bei mehrjährigen Vergleichen und mit unterschiedlichen Bedingungen in Bezug auf Kulturart, Klima und Bewirtschaftung (z. B. langfristige organische Düngung) ähnliche Ergebnisse erzielen, b) bei einer sensorgestützten teilflächenspezifischen N-Düngung im Vergleich zur schlageinheitlichen N-Düngung eine geringere Variabilität der N-Salden (und insgesamt geringere N-Verluste) auftreten, c) die berechneten N-Salden der Teilflächen tatsächlich unterschiedliche Nitratausträge kennzeichnen (Messung der Nitratverluste).

³ Auf Grundlage der Mähdrescher-Ertragsdaten

⁴ Auf Grundlage des Sensors

Literaturverzeichnis

- [ES19] ESA (2019): European Space Agency. Sentinel-2. Online verfügbar unter <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, zuletzt geprüft am 26.10.2019.
- [Go03] Godwin, R. J.; Wood, G. A.; Taylor, J. C.; Knight, S. M.; Welsh, J. P. (2003): Precision Farming of Cereal Crops: a Review of a Six Year Experiment to develop Management Guidelines. In: *Biosystems Engineering* 84 (4), S. 375-391.
- [Hü03] Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Zugl.: Halle (Saale), Univ., Habil.-Schr., 2002. Aachen: Shaker
- [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.
- [KCH10] Küstermann, Björn; Christen, Olaf; Hülsbergen, Kurt-Jürgen (2010): Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135 (1-2), S. 70-80.
- [Ma63] Matheron, Georges (1963): Principles of geostatistics. In: *Economic Geology* 58 (8), S. 1246-1266.
- [Ma17] Maidl, F.-X; Spicker, A.; Prücklmaier, J.; Hülsbergen, K.-J. (2017): Minderung von Nitratausträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch sensorgestützte N-Düngung. VDLUFA-Schriftenreihe 74.
- [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
- [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.
- [Sp16] Spicker, Andreas (2016): Entwicklung von Verfahren der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.) und Winterraps (*Brassica napus* L.) auf Grundlage reflexionsoptischer Messungen. 1. Auflage. Berlin: Verlag Dr. Köster (Weihenstephaner Schriften Ökologischer Landbau und Pflanzenbausysteme, Band 5).
- [St02] Steinmayr, Thomas (2002): Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung.
- [ST13] Salo, Tapio; Turtola, Eila (2006): Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113 (1-4), S. 98-107

Öffentliche Meinung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft und ihren Auswirkungen

Eine Analyse von Medieninhalten

Svenja Mohr¹ und Julia Höhler¹

Abstract: Das Bild der Landwirtschaft in der Bevölkerung wird zunehmend durch die Medien geprägt. Um die öffentliche Meinung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft zu untersuchen und ihre Akzeptanz zu steigern, eignet sich daher die Analyse von Medieninhalten zum Thema. In einer Inhaltsanalyse von 84 Zeitungsartikeln werden Argumente codiert und anschließend mittels einer Frequenzanalyse ausgewertet. Es zeigt sich, dass Pro-Argumente in der Berichterstattung überwiegen. Insbesondere wird positiv über die Arbeitserleichterung, weniger Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln sowie höhere Erträge berichtet. Negativ werden die unzureichende Netzabdeckung und die Macht der Anbieter thematisiert.

Keywords: Digitalisierung, Landwirtschaft, Inhaltsanalyse, Medienanalyse

1 Einleitung

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft bietet vielfältige Potenziale zur Effizienzsteigerung, zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit sowie zur Steigerung der Produktqualität [Pf19]. Um diese Potenziale zu nutzen, bedarf es einer breiten Akzeptanz verschiedener gesellschaftlicher Einflussgruppen. Zum einen betrifft dies den Einsatz neuer Technologien durch landwirtschaftliche Betriebe [SG18]. Zum anderen müssen aber auch Verbraucher und Verbraucherinnen die Digitalisierung in der Landwirtschaft akzeptieren [Pf19]. Durch die Entfremdung der Verbraucher und Verbraucherinnen von der Lebensmittelproduktion werden deren Vorstellungen über landwirtschaftliche Produktionsprozesse zunehmend durch Medien und durch Darstellungen von Nichtregierungsorganisationen geprägt [Pf19; ASJ08]. Die Medien beeinflussen durch die Auswahl und Darstellung von Themen die öffentliche Meinung. Die Kenntnis der öffentlichen Meinung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft sowie ihrer Einflussfaktoren und Dynamiken kann bei der Gestaltung politischer Maßnahmen und bei der Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz eingesetzt werden.

Ziel dieses Beitrags ist es, Medieninhalte zur Digitalisierung in der Landwirtschaft zu identifizieren und die verwendeten Deutungsmuster zu untersuchen. Konkret sollen die

¹ Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft/Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstraße 3, 35390 Gießen, svenja.mohr@ernaehrung.uni-giessen.de, julia.hoehler@agrar.uni-giessen.de

relevanten Argumente identifiziert und ein Meinungsbild aufgezeigt werden. Für die Inhaltsanalyse werden zunächst systematisch Zeitungsartikel zu dem Thema „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ aus den Leitmedien erfasst. Diese Zeitungsartikel werden mithilfe eines induktiv entwickelten Kategoriensystems codiert, um die Inhalte zusammenzufassen und wesentliche Inhalte herauszuarbeiten [Ma15]. Jedes Auftreten eines jeweiligen Deutungsmusters (z. B. „*Es mangelt an Akzeptanz durch die Landwirtschaft*“) wird markiert. Durch die Vergabe der unterschiedlichen Codes kann die Berichterstattung analysiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse bieten für die Hersteller von Produkten die Möglichkeit, gezielte Maßnahmen zur Förderung der gesellschaftlichen Akzeptanz zu entwickeln.

2 Material und Methoden

Für die Inhaltsanalyse wurde in den Archiven verbreiteter überregionaler Tages- und Wochenzeitungen sowie Nachrichtenmagazinen mit den Suchwörtern „Digitalisierung + Landwirt*“ sowie „Digitalisierung + Agrar*“ nach Artikeln aus dem Zeitraum 01.01.2016 bis 30.04.2019 gesucht. Die Artikel stammen aus den Medien Stern, Focus, Spiegel, die Zeit, die Welt, Bild, Bild am Sonntag, Süddeutsche Zeitung, Frankfurter Allgemeine Zeitung und Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung. Es handelt sich dabei um die zehn Zeitungen mit den höchsten Reichweiten in der jeweiligen Zeitungskategorie. Insgesamt wurden 84 Artikel gefunden. Das Wort Digitalisierung kommt hierin 252-mal vor. Die Inhaltsanalyse erfolgte mit dem Programm MaxQDA. Da bisher keine wissenschaftlichen Arbeiten zur Medienagenda bezüglich der Digitalisierung in der Landwirtschaft vorliegen, wurden die Kategorien induktiv, also direkt aus dem Material gebildet [Ma15]. Codiert wurden Sätze, die entweder negativ (Code: Contra), positiv (Code: Pro) oder neutral (Code: Neutral) über die Digitalisierung in der Landwirtschaft berichten. Dabei wurden die Sätze in knapper, auf den Inhalt beschränkter und beschreibender Form mit einem Code umschrieben. Anschließend wurden die Codes aufgrund von inhaltlichen Überlegungen weiter reduziert [Ma15]. Um die Reliabilität zu überprüfen, wurde eine Zufallsstichprobe der Texte jeweils durch zwei Personen codiert. Insgesamt wurden 451 Codes vergeben.

3 Vorläufige Ergebnisse und Diskussion

Die Aufteilung der Argumente in Pro, Contra und Neutral (Abbildung 1) zeigt, dass in der Berichterstattung positive Argumente mit einem Anteil von 58,5 Prozent an den vergebenen Codes überwiegen. Negative Argumente machen 26,2 Prozent der Codes aus, während 15,3 Prozent auf neutrale Argumente entfallen.

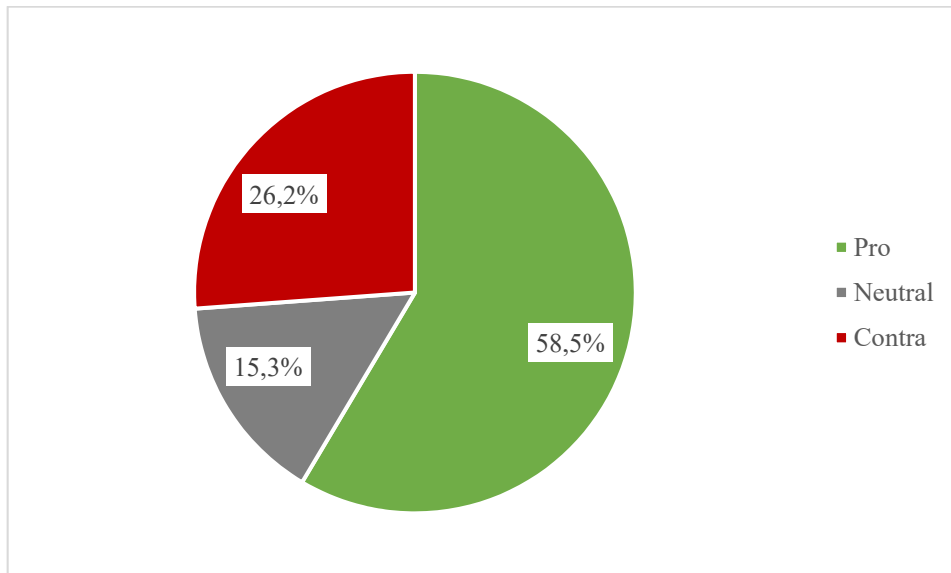


Abb. 1: Verteilung der Argumente in den ausgewerteten Zeitungsartikeln

Die verschiedenen Codes können nun weiter nach ihrer Häufigkeit aufgeschlüsselt werden. In Abbildung 2 sind die meistvergebenen Codes dargestellt. Als Pro-Argumente markierte Codes werden als grüne, Contra-Argumente als rote und neutrale Argumente als graue Balken angezeigt. Codes ab neun Nennungen werden dargestellt, während alle übrigen Codes in der Kategorie „Sonstiges“ zusammengefasst werden (18,8 Prozent). Am häufigsten wird die Arbeitserleichterung als positives Argument für die Digitalisierung in der Landwirtschaft genannt (12,4 Prozent), gefolgt vom reduzierten Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln (PSM, 8,6 Prozent), höheren Erträgen (8,4 Prozent) und mehr Umweltschutz und Nachhaltigkeit (7,3 Prozent). Danach folgen die beiden neutralen Argumente, dass die Digitalisierung in der Landwirtschaft bereits genutzt wird (6,4 Prozent) und dass sie die Landwirtschaft verändern wird (6,2 Prozent). Negativ werden die Macht der Anbieter und die damit verbundene steigende Abhängigkeit der Landwirtschaft (3,3 Prozent), Probleme beim Datenschutz und bei der Datenhoheit (3,1 Prozent) sowie hohe Kosten der Digitalisierung (2,7 Prozent) und die fehlende Marktreife (2 Prozent) in den Artikeln thematisiert. Zudem wird positiv über mehr Transparenz (2,2 Prozent) und bessere Produktqualität (2 Prozent) berichtet. Darüber hinaus wird neutral dargestellt, dass die Industrie in die Digitalisierung investiert (2 Prozent).

Im Vergleich mit den Ergebnissen von Pfeiffer et al. [Pf19], die eine repräsentative Befragung zur gesellschaftlichen Akzeptanz von Digitalisierung in der Landwirtschaft durchgeführt haben, zeigt sich, dass die Argumente in den Medien sich auch in der generellen Meinung der Verbraucher und Verbraucherinnen zu digitalen Technologien widerspiegeln. Der Großteil der Befragten von Pfeiffer et al. geht von einer Arbeitserleichterung durch die Digitalisierung aus und nimmt an, dass sie eine

umweltschonendere Produktion ermöglicht. Das Argument der Ertragssteigerung findet sich jedoch nicht in der Befragung wieder, sodass keine Aussage dazu möglich ist, ob die Bevölkerung dieses Potenzial wahrnimmt.

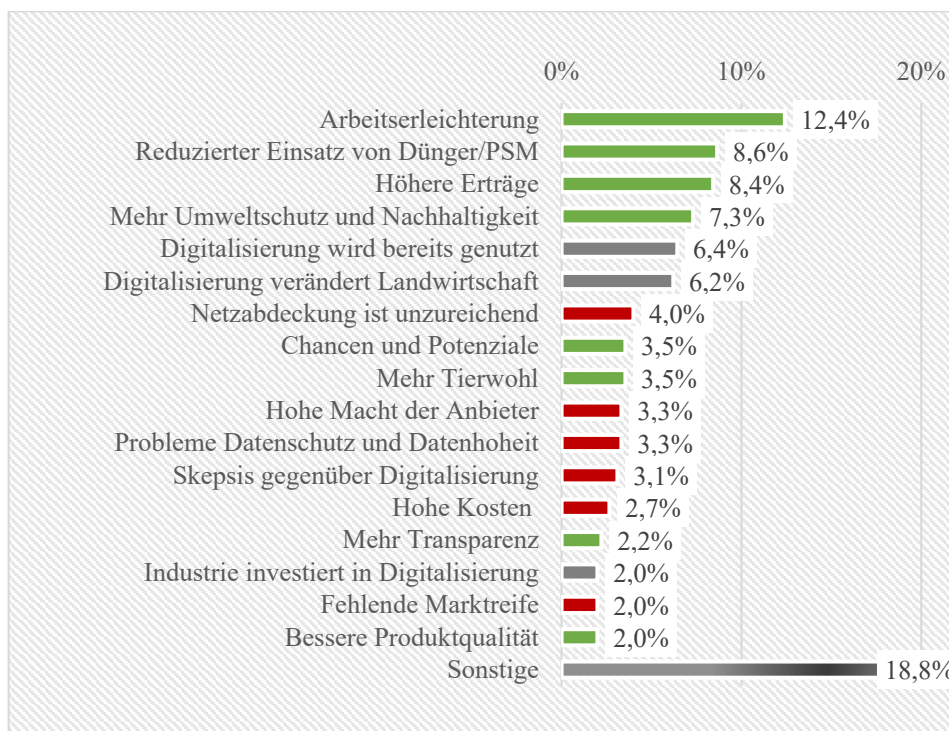


Abb. 2: Anteil der häufigsten Codes an den Gesamtcodes

Vergleicht man die Ergebnisse mit der Forschung zur Medienagenda bezüglich anderer landwirtschaftlicher Themen, wie beispielsweise der Biotechnologie [KMV04], so wird deutlich, dass die Berichterstattung zur Digitalisierung der Landwirtschaft überdurchschnittlich positiv ist.

4 Schlussfolgerungen

In den deutschen Medien wurde von Anfang 2016 bis Mitte 2019 überwiegend positiv über die Digitalisierung in der Landwirtschaft berichtet. Insbesondere werden die Arbeitserleichterung, der reduzierte Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutz, höhere Erträge und mehr Umweltschutz und Nachhaltigkeit als positiv beschrieben. Negativ wird hingegen über die unzureichende Netzabdeckung, die hohe Macht einiger Anbieter und Probleme bei Datenschutz und Datenhoheit berichtet. Ein Abgleich mit der

repräsentativen Befragung von Pfeiffer et al. [Pf19] zeigt, dass die positiven Argumente sich auch in der Meinung der Bevölkerung wiederfinden. Weitere Arbeiten sind notwendig, um zu erforschen, inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Berichterstattung und der Wahrnehmung der Digitalisierung in der Landwirtschaft in der Öffentlichkeit bestehen. Hierbei kann zudem der Zeitraum der Untersuchung auf aktuellere Zeitungsartikel ausgeweitet werden, um zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen. Eine Erweiterung der Untersuchung auf elektronische Medien ist ebenfalls vorstellbar. Die hier herausgearbeiteten Argumente bieten erste Ansatzpunkte für Hersteller und die Landwirtschaft, die Vorteile der Digitalisierung zielgerichtet zu kommunizieren und die Akzeptanz in der Bevölkerung weiter zu steigern.

Literaturverzeichnis

- [ASJ08] Albersmeier, F.; Spiller, A.; Jäckel, K.: Öffentlichkeitsorientierung in der Ernährungswirtschaft: Eine empirische Studie zum Umgang mit kritischen Anspruchsgruppen. *Zeitschrift für Management* 3/4, S. 363-384, 2008.
- [KMV04] Kalaitzandonakes, N.; Marks, L. A.; Vickner, S. S.: Media Coverage of Biotech Foods and Influence on Consumer Choice, *American Journal of Agricultural Economics* 86 /5, S. 1238-1246, 2004.
- [Ma15] Mayring, P.: *Qualitative Inhaltsanalyse*, 12. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim und Basel, 2015.
- [Pf19] Pfeiffer, J.; Schleicher, S.; Gabriel, A.; Gandorfer, M.: Gesellschaftliche Akzeptanz von Digitalisierung in der Landwirtschaft. *Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen, Lecture Notes in Informatics. Gesellschaft für Informatik*, S. 151-154, 2019.
- [SG18] Schleicher, S.; Gandorfer, M.: Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. *Digitale Marktplätze und Plattformen, Lecture Notes in Informatics (LNI). Gesellschaft für Informatik*, S. 203-206, 2018.

Künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft

Eine Analyse von Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention bei Landwirten

Svenja Mohr¹ und Rainer Kühl¹

Abstract: Die ökonomische und ökologische Überlegenheit von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft kann nur dann ausgeschöpft werden, wenn bei Landwirten eine Bereitschaft vorliegt, diese zu nutzen. Um den Einfluss verhaltensbezogener Faktoren auf die Nutzungsintention von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft zu untersuchen, wird die Theorie des geplanten Verhaltens verwendet und erweitert. Die Überprüfung der modellierten Zusammenhänge erfolgt mit einer Strukturgleichungsanalyse. Die Analyse ergibt, dass die persönliche Einstellung, die Wahrnehmung der Verhaltenskontrolle und die Erwartung von Eigentumsrechten an betrieblichen Daten einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Nutzungsintention von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz bei den befragten Landwirten haben.

Keywords: Künstliche Intelligenz, Landwirtschaft, Theorie des geplanten Verhaltens, Strukturgleichungsmodell

1 Einleitung

Marktforschungsunternehmen und Branchenverbände vermitteln den Eindruck einer modernen und fortschrittlichen Landwirtschaft in Deutschland. So bezeichnen unter anderem der Digitalverband Bitkom und der Deutsche Bauernverband die Landwirtschaft als „Treiber der Digitalisierung im ländlichen Raum“ [Bi19]. Gleichzeitig steht die Landwirtschaft vor Herausforderungen: Die Bedeutung der Ressourcenschonung, mit der ein sparsamer Einsatz von Betriebsmitteln einhergeht, nimmt zu. Produktionsentscheidungen müssen aufgrund von Wetterveränderungen, unterschiedlichen lokalen Bodenbeschaffenheiten und Pflanzenkrankheiten unter Unsicherheit getroffen werden [An17]. Verschiedene Technologieentwicklungen wie Künstliche Intelligenz (KI) können genutzt werden, um diesen Herausforderungen zu begegnen.

Dieser Beitrag zielt darauf ab, Voraussetzungen für die Nutzungsbereitschaft von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz bei Landwirten zu untersuchen. Die Einstellungen der Landwirte gegenüber selbstlernenden Systemen stehen im Fokus. Eine Strukturgleichungsanalyse wird eingesetzt, um verhaltensbezogene Faktoren, die die

¹ Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft/Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstraße 3, 35390 Gießen, Svenja.Mohr@ernaehrung.uni-giessen.de, Rainer.Kuehl@agrar.uni-giessen.de

Nutzungsintention von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft beeinflussen, zu untersuchen.

2 Künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft

Künstliche Intelligenz bzw. selbstlernende Systeme² sind Anwendungen aus der Informatik, die selbstständig Daten verarbeiten, aus Daten lernen, Muster zu erkennen und bestimmte Aufgaben zu lösen. Dieses sogenannte intelligente Verhalten ist in Maschinen wie Robotern oder Computern integriert [RN95; Co18]. Anwendungsbereiche von Künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft sind unter anderem der chemische oder mechanische Pflanzenschutz und die Aussaat von Saatgut. Ökonomische und ökologische Vorteile werden durch den Einsatz von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz erwartet. Beispielsweise wird den Robotern zugeschrieben, nur dort in die Umwelt einzugreifen, wo ihr Einsatz notwendig ist. Der Einsatz von Inputfaktoren wird optimiert, negative Auswirkungen auf Böden und Grundwasser werden verringert und Kosten eingespart [Hi19].

Die ökonomischen und ökologischen Vorteile von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft können nur dann genutzt werden, wenn eine Nutzungsbereitschaft dieser Anwendungen bei Landwirten vorliegt. Trotz finanziellen, produktionstechnischen und arbeitserleichternden Vorteilen von neuen Technologien wurde bereits in früheren Studien zur Nutzung von Precision-Farming-Technologien ermittelt, dass weniger als ein Drittel der Befragten diese Technologien nutzt [Re09; PT17].

3 Empirische Analyse

3.1 Modelltheoretische Grundlagen und Herleitung der Hypothesen

Um den Einfluss verschiedener verhaltensbezogener Faktoren auf die Nutzungsbereitschaft von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz zu untersuchen, wird das Modell des geplanten Verhaltens von Ajzen (1991), bei dem es sich um ein Erklärungsmodell von Einstellungs-Verhaltensreaktionen handelt, herangezogen. Das Modell ist durch die drei Konstrukte *persönliche Einstellung*, *subjektive Norm* und *wahrgenommene Verhaltenskontrolle* charakterisiert. Grundsätzlich gilt für die drei Faktoren, je positiver deren Ausprägung, desto stärker ist die Verhaltensabsicht [Aj91]. Da mit der Entwicklung von intelligenten Technologien Fragen bezüglich der Eigentumsrechte an Daten aufkommen, wird dieser Aspekt ebenfalls erfasst. Bei Landwirten stellt die ungeklärte Datenhoheit ein Akzeptanzhemmnis dar [Ga17], weshalb

² werden synonym verwendet.

das Modell um den Faktor *Erwartung von Eigentumsrechten an betrieblichen Daten* ergänzt wird.

Der erste Faktor *persönliche Einstellung* umfasst den Grad einer positiven oder negativen Beurteilung des betreffenden Verhaltens [Aj91]. Die persönliche Einstellung zum Verhalten wird hier als Einstellung zur Nutzungsabsicht von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft erfasst.

H1: Je positiver die persönliche Einstellung zu KI-Anwendungen in der Landwirtschaft beurteilt wird, desto höher ist die Nutzungsintention von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft.

Der zweite Faktor *subjektive Norm* bezieht sich auf den wahrgenommenen sozialen Druck durch Anspruchsgruppen, die Aktivität aus- oder nicht auszuführen. Bei diesem Konstrukt geht es also um die Wahrnehmung der Landwirte dessen, was verschiedene Interessensgruppen hinsichtlich der Nutzungsbereitschaft von KI-Anwendungen erwarten [Aj91].

H2: Je positiver die subjektive Norm beurteilt wird, desto höher ist die Nutzungsintention von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft.

Der dritte Faktor *wahrgenommene Verhaltenskontrolle* erfasst die wahrgenommene Einfachheit bzw. Schwierigkeit, ein Verhalten in der Realität umzusetzen. Es geht also um das Selbstvertrauen in die Fähigkeiten, die Nutzung von KI-Anwendungen auszuführen [Aj91].

H3: Je positiver die wahrgenommene Verhaltenskontrolle beurteilt wird, desto höher ist die Nutzungsintention von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft.

Sowohl von der Industrie und der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft als auch von der Politik wird gefordert, dass die Eigentumsrechte der betrieblichen Daten bei den Landwirten liegen [DLG18]. Es ist davon auszugehen, dass sich die Nutzungsintention von KI-Anwendungen erhöht, wenn die *Eigentumsrechte der betrieblichen Daten* bei Landwirten liegen.

H4: Je höher die Erwartung ist, dass die Eigentumsrechte der betrieblichen Daten bei Landwirten liegen, desto höher ist die Nutzungsintention von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft.

3.2 Methode

Der Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die Nutzungsintention von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz wird mit Hilfe einer Strukturgleichungsanalyse überprüft. Strukturgleichungsanalysen eignen sich für die Analyse komplexer Ursache-Wirkungsstrukturen und erlauben die Messung hypothetischer Konstrukte, die sich einer

direkten empirischen Beobachtbarkeit entziehen. Die Messbarkeit der hypothetischen Konstrukte erfolgt durch die Operationalisierung der Faktoren mittels verschiedener Items, die unterschiedliche Aspekte der Konstrukte wiedergeben [Ha17]. Der Online-Fragebogen wurde im Oktober 2019 an Studierende und Mitarbeitende der Justus-Liebig-Universität Gießen, die im Fachbereich 09 „Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement“ eingeschrieben bzw. angestellt sind und in einem landwirtschaftlichen Betrieb arbeiten, versendet.

3.3 Vorläufige Ergebnisse

Insgesamt haben 85 Personen an der Befragung teilgenommen, wovon nachfolgend 36 Personen berücksichtigt werden. Die restlichen Personen haben den Fragebogen nicht vollständig ausgefüllt oder sind auf keinem landwirtschaftlichen Betrieb angestellt. Das Durchschnittsalter der Befragten liegt bei 27 Jahren. Rund 75 Prozent der Befragten sind als Studierende an der Universität eingeschrieben, ein Viertel der Befragten ist an der Universität angestellt. Im Median sind vier Personen in den Betrieben der Befragten angestellt und die bewirtschaftete Ackerfläche liegt bei 120 ha. Acht von zehn dieser Betriebe sind Haupterwerbsbetriebe.

Die Schätzung des Strukturgleichungsmodells erfolgt mit einer varianzbasierten Parameterschätzung. Die Überprüfung der Gütekriterien der beiden reflektiven Messmodelle *Nutzungsintention von KI-Anwendungen* und *persönliche Einstellung* ergibt, dass diese erfüllt sind. Gleiches trifft auf die formativen Messmodelle *subjektive Norm*, *wahrgenommene Verhaltenskontrolle* und *Erwartung von Eigentumsrechten an betrieblichen Daten* zu. Die Gütebeurteilung des Strukturmodells ist also möglich. Das Modell weist keine Multikollinearität auf und beinhaltet Konstrukte, die die Nutzungsintention von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft beeinflussen ($Q^2: 0,373$). Insgesamt werden 74,3 Prozent der Varianz der Nutzungsintention von KI-Anwendungen durch die zugeordneten Konstrukte erklärt.

Das Strukturgleichungsmodell und die Ergebnisse der Hypothesenprüfung sind in Abbildung 1 dargestellt. Drei von vier Hypothesen werden angenommen. Zur Interpretation der Effekte werden die Pfadkoeffizienten herangezogen. Es gilt, je höher ein Pfadkoeffizient ist, desto höher ist die Relevanz des Konstrukts für die abhängige Variable *Nutzungsintention von KI-Anwendungen*.

Die *persönliche Einstellung* der Befragten zur KI-Anwendung hat in diesem Modell den bedeutendsten Einfluss auf die Nutzungsintention von selbstlernenden Systemen in der Landwirtschaft (H1). Dieses Konstrukt wird durch die Möglichkeit einer ressourcenschonenderen und nachhaltigeren Landwirtschaft sowie das eigenen Interesse, selbstlernende Systeme auszuprobieren, erfasst. Die Hypothese zur *subjektiven Norm* wird aufgrund des statistisch nicht signifikanten Pfadkoeffizienten verworfen (H2). Demzufolge haben Politik, Medien und Gesellschaft keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Nutzungsintention von selbstlernenden Systemen in der Landwirtschaft.

Dennoch lässt sich aufgrund der Höhe des Pfadkoeffizienten eine ökonomische Relevanz des Konstrukts auf die Nutzungsintention vermuten. Für das Konstrukt *wahrgenommene Verhaltenskontrolle* wird ebenfalls ein statistisch signifikanter Einfluss ermittelt. Daraus folgt, je weniger Schwierigkeiten bei der Implementierung von selbstlernenden Systemen erwartet werden, desto höher ist die Nutzungsintention dieser Anwendungen. Bei der Überprüfung der Hypothese zur *Erwartung von Eigentumsrechten an betrieblichen Daten* wird ein signifikanter Einfluss auf die Nutzungsintention von KI-Anwendungen festgestellt (H4).

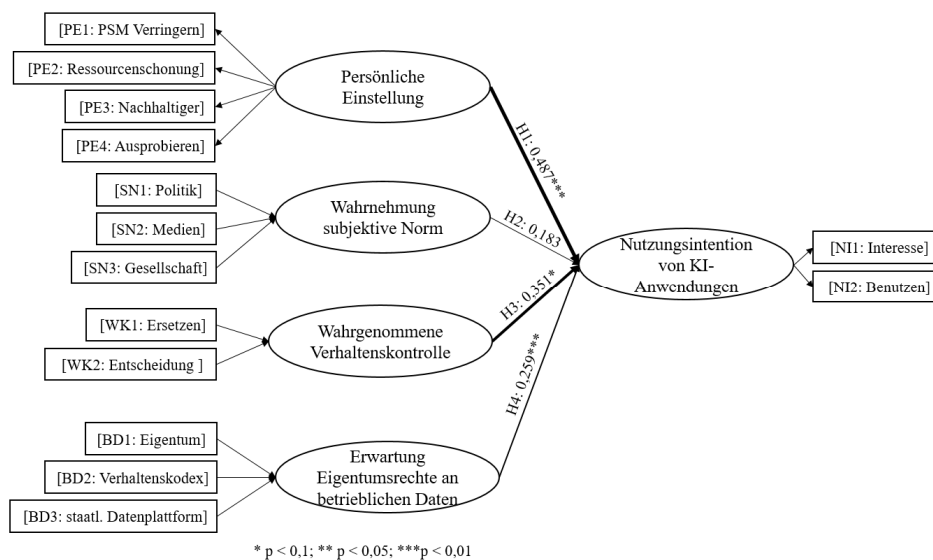


Abb. 1: Darstellung des Strukturgleichungsmodells und der Hypothesenprüfung

4 Schlussfolgerung und Limitationen

Die Ergebnisse der Strukturgleichungsanalyse zeigen die Übertragbarkeit des Modells des geplanten Verhaltens auf den Untersuchungsgegenstand. Die persönliche Einstellung der Befragten hat den bedeutendsten Einfluss auf die Nutzungsintention. Insbesondere hier könnten Politik, Hersteller und Verbände ansetzen, um eine breite Akzeptanz von Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz bei Landwirten zu schaffen.

Obwohl durch die Strukturgleichungsanalyse statistisch signifikante Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention von KI-Anwendungen bei Landwirten ermittelt werden, muss auch auf modelltheoretische Einschränkungen hingewiesen werden. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist ein Einbezug weiterer Einflussfaktoren sowie die Messung der Konstrukte mit weiteren Items nicht möglich [Ha17]. In zukünftigen Untersuchungen

sollte die Stichprobengröße und der Anteil an Haupterwerbslandwirten erhöht werden, um ein umfassenderes Modell schätzen zu können.

Literaturverzeichnis

- [Aj91] Ajzen, I.: The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50/2, S. 179-211, 1991.
- [An17] Antle, J. et al.: Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products. Design and improvement. *Agricultural Systems* 155, S. 255-58, 2017.
- [Bi19] Bitkom: Landwirte bringen digitalen Fortschritt in den ländlichen Raum. Pressebereich, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Landwirte-bringen-digitalen-Fortschritt-den-laendlichen-Raum>, Stand: 06.02.2019.
- [Co18] Coble, K. et al.: Big Data in Agriculture. A Challenge for the Future. *Applied Economic Perspectives and Policy* 40/1, S. 77-96, 2018.
- [DLG18] Deutsche-Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG): Chancen. Risiken. Akzeptanz. Digitale Landwirtschaft. Ein Positionspapier der DLG, <https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/themen/technik/digitalisierung-arbeitswirtschaft-und-prozesstechnik/digitale-landwirtschaft/>, Stand: Januar 2018.
- [Ga17] Gandorfer, M. et al.: Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen. Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen: Referate der 39. GIL-Jahrestagung, 18.-19. Februar 2019 in Wien, S. 9-19, 2017.
- [Ha17] Hair, J. et al.: Partial Least Squares Strukturgleichungsmodellierung (PLS-SEM): Eine anwendungsorientierte Einführung, 1. Auflage, Vahlen, München, 2017.
- [Hi19] Hillerband, F. et al.: Robotik in der Außenwirtschaft. Entwicklungskonzepte und tendenzielle Einflussmöglichkeiten auf die Prozesssteuerung durch den Landwirt. Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Fokus: Digitalisierung in kleinstrukturierten Regionen: Referate der 39. GIL-Jahrestagung, 18.-19. Februar 2019 in Wien, S. 77-82, 2019.
- [PT17] Paustian, M.; Theuvsen, L.: Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agric* 18, S. 701-716, 2017.
- [Re09] Reichardt, M. et al.: Dissemination of precision farming in Germany: acceptance, adoption, obstacles, knowledge transfer and training activities. *Precision Agric* 10, S. 525-545, 2009.
- [RN95] Russel, S.; Norvig, P.: *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, 1995.

Entrepreneurship costs and the readability of regulations

The case of wine ecommerce

Rolf A. E. Mueller¹ and Daniel A. Sumner²

Abstract: We employ readability measures of regulation texts to measure the mental effort costs and the vexation costs that the texts impose on ecommerce entrepreneurs.

Keywords: ecommerce, entrepreneurship, costs, readability, regulations

1 Introduction

Ecommerce is subject to massive regulations such as the EU's General Data Protection Regulation (EU) 2016/679 (GDPR). Moreover, in Germany, ecommerce traders are pained by laws that have put much of the enforcement of ecommerce and data protection regulations into the hands of lawyers who extract tributes from ecommerce businesses with cease-and-desist letters for often trivial infringements of data protection and other ecommerce regulations.

The increasing weight of laws and regulations is widely recognized but rarely measured. In our paper we argue that regulations have entrepreneurship costs that distract entrepreneurs from pursuing innovations and that are a source of vexation. We then employ readability measures from philology to measure the costs of ecommerce regulations on entrepreneurship.

What gets measured gets attention. By measuring entrepreneurship costs we intend to direct public and policy attention to the less discussed cost of regulations.

2 Entrepreneurship costs of regulations

Let us consider regulations from the perspective of an ecommerce entrepreneur who intends to turn a new idea into an innovative enterprise on the web. The conduct of such an entrepreneur is subject to constraints that we lump into four categories: laws and regulations issued by government, markets, social norms, and the technology of the web

¹ Dept. of Ag. Econ, CAU Kiel, Olshausenstrasse 40, 24118 Kiel, raem@ag-ii.de

² University of California Agricultural Issues Center and Dept. of Ag. & Res. Econ, UC Davis, One Shields Av., Davis, CA, USA, 95616, dasumner@ucdavis.edu

[Le06]. Here we are only concerned with the constraints that laws and regulations set by government impose on the web-entrepreneur.

Whether laws and regulations (which we henceforth call ‘rules’ for brevity) actually constrain the behavior of an entrepreneur depends on how the rules are enforced, and how the enforcement of the rules affects the activities of the entrepreneur compared to what he would have done in the absence of the rules. We assume that the current method of enforcing ecommerce rules by means of cease-and-desist letters from lawyers is effective. The activities of our entrepreneurs are largely those of the everyday entrepreneur that Schultz [Sc75, Sc80] has put into our box of economic tools. Schultz’s entrepreneur is motivated by economic gains that arise from adapting his economic activities to a changing economic environment. Specific entrepreneurial abilities are a competence to perceive such opportunities, to evaluate their attributes, and in figuring out whether they are worth exploiting [Sc75].

When rules are enforced, the entrepreneur needs to become aware of the rules, acquire and understand their content, check whether an opportunity is affected by them, evaluate the attributes of the opportunity with the rules taken into account, and assess the costs and benefits of seizing the opportunity. These are all mental activities. They require the entrepreneur to be receptive to new information, to imagine opportunities, to foresee outcomes, to mentally evaluate outcomes. Mental activities have a cost. The source of the cost are the limited mental abilities of humans. Evidence of limited mental ability abound in everyday life. The “Invisible Gorilla” experiment from psychology provides the scientific evidence of limited mental ability [CS10]. When mental capacities are limited, mental tasks have opportunity costs in terms of the benefits foregone by not being able to carry out the next most valuable mental task. By this logic, any rule that adds to the mental tasks of the entrepreneur has a cost which we call the mental effort cost of rules.

Entrepreneurs are not infallible, and they know that. They know that they will make mistakes, and they know that they will break rules by mistake. They also know that rules are never unambiguous and often unintelligible which increases the risk of unintentional rule violations. The expectation of being punished for unintentional rule violations is likely to have a chilling effect on the optimism of entrepreneurs. Adam Smith called this effect “vexation”, and he observed, “though vexation is not, strictly speaking, expence, it is certainly equivalent to the expence at which every man would be willing to redeem himself from it” [Sm13, p. 471].

We now have identified two non-financial costs of rules: mental effort costs, and vexation costs. Taken together, we call these cost “entrepreneurship cost” of rules and distinguish them from (i) the costs incurred by governments (taxpayers) of creating the rules, (ii) enforcement costs, and (iii) costs in terms of loss of economic activity caused by compliance or avoidance of the rules. Entrepreneurship cost are often ignored in economic analyses of rules. We surmise that this neglect is due to the difficulty of measuring them.

3 Readability measures as indicators of entrepreneurship costs

Entrepreneurship costs of rules are difficult to measure directly because they are virtual. We therefore measure them with the help of indicators which meet two criteria: First, there is a plausible connection between the indicator and entrepreneurship cost, and, second, software tools are available for quantifying the indicators.

Readability measures quantify how easily a certain category of people can read the words and sentences of a text, how well readers understand a text, and how interesting they find it [Du04]. Rules are always issued as text – the practice has not changed since Hammurabi (~1750 BCE) and Moses (~1270 BCE). Whereas the old legal texts were often short and clear – *thou shalt not ...* – modern legal texts tend to be verbose and often unintelligible to non-jurists [Na18; Fr07]. Moreover, as any enterprise tends to be subject to multiple sets of rules, the rules tend to accumulate into thickets [Su14] that are impenetrable for non-jurists. Readability measures that quantify how intelligible and how penetrable texts are for their readers therefore indicate the demand that a text makes on the mental ability of its readers. And, if the readers are entrepreneurs and the text is a rule, readability measures indicate the magnitude of the entrepreneurship costs of the rule.

Readability measures are in abundant supply: DuBay [Du04] claims there were 200 of them. We select two that are implemented in READABILITY.IO, an online service that quantifies readability measures for text presented to it. One is the Coleman-Liau Index (CLI) which is defined as:

$$\text{CLI} = 0.0588 L - 0.296 S - 15.8$$

where

L: average number of letters per 100 words, and

S: average number of sentences per 100 words.

The other is the Automated Readability Index (ARI) which is defined as

$$\text{ARI} = 4.71 (c/w) + 0.5 (w/s) - 21.43$$

where

c/w: characters per word (a measure of word difficulty); and

w/s: words per sentence (a measure of sentence difficulty).

Both indices are calibrated to indicate the school grade needed to understand a text. Low index values indicate good readability, and low entrepreneurship costs; high index values, in contrast, indicate poor readability and high entrepreneurship costs.

4 Readability of EU and German rules for ecommerce in wine

We have measured the indicators of the entrepreneurship costs for rules that govern ecommerce of wine in Germany. We have chosen this market segment for our empirical measurements because wine webshops in Germany offer surprisingly short tails of wine from the USA which is mostly from California. Tariffs, taxes, transport costs, and poor information infrastructure cannot explain the short tails of California wines that are on offer. Entrepreneurship costs of rules are the only plausible remaining cause [Br18].

Based on ecommerce guidelines issued by the chambers of industry and commerce at Trier and at Munich, and using a Fact Sheet issued by the EU Commission, we identified a total of 27 documents that regulate wine ecommerce. Nine documents were wine laws and regulations and 18 documents were regulations of ecommerce (see Tab. 1).

We know from Gulliver's Travels "that nothing is great or little than by Comparison" [Sw08, p. 78]. We therefore compare the readability measures that we take from the rule texts with two benchmarks, one for bad and the other for good writing. Our benchmark text for bad writing is an assembly of text passages that have been listed on the web site of The Bad Writing Contest [Ba]; our benchmark text for good writing is Chris Anderson's "Long tail" article [An04].

Our measurements suggest that prospective new entrants into Germany's ecommerce with wine need to be highly literate. They ought to be prepared to read, or at least browse, through close to 1,000 pages of text, comprising some 33,000 sentences, much of it pure legalese. The readability of the texts is low (see Tab. 1). EU regulations have a mean Coleman-Liau index of 12.0 for wine documents, and 13.2 for ecommerce documents. This is equivalent for reading skills of college students. The Coleman-Liau indices for the EU ecommerce documents are closer to the Coleman-Liau Index for the Exceptionally Bad Writing benchmark text (16.0) than they are to the index value for our good-writing benchmark (9.9). The mean Automated Readability Indices for EU documents also suggest reading skill requirements of close to college level.

The German texts have much higher mean Coleman-Liau and higher Automated Readability Indices than the EU texts. That the measured readability of texts in German is worse than that of texts in English is unsurprising to all who have read Mark Twain's "The awful German language" [Tw97]. We are, however, reluctant to conclude on the grounds of these measures alone that the readability of the German regulations is actually much worse than that of the EU statutes. From our experience, apparently shared by Freedman [Fr07], the un-readability of EU statutes is hard to beat and the higher readability index values for the German texts may be measurement artifacts caused by German language syntax idiosyncrasies.

The results support what we had expected: The national and EU regulations that govern wine ecommerce are voluminous and difficult to read. The regulations make high demands on entrepreneurs' scarce attention, they are likely to stifle the creativity of ecommerce

entrepreneurs, and entrepreneurs are likely to be vexed significantly by the regulations. Most likely they deter some new entrepreneurs from entering that market [BM14].

Item	No. docs	Sum words	Mean Coleman-Liau Index	Mean Autom. Readability Index
Well-written benchmark text	1	5,211	9.9	8.8
Badly written benchmark text	1	1,478	16.0	30.9
Wine documents DE	4	33,565	19.9	15.5
Ecommerce docs DE	9	48,030	22.5	19.3
Wine documents EU	5	147,679	12.0	11.2
Ecommerce documents EU	9	177,736	13.2	11.2
All wine and ecommerce docs	27	407,010	_(¹)	_(¹)

(1): We refrain from calculating means for the Coleman-Liau Index and the Automated Readability Index when this would involve indices calculated from measures on texts in English and in German; the indices have been calibrated for texts in English but not for texts in German.

Tab. 1: Results of readability measurements on EU and German wine and ecommerce laws, regulations, and introductory brochures

5 Then what?

What gets measured gets attention, and attention, we know, is the scarce resource of the information society. By providing useful and applicable measures of entrepreneurship costs we hope to direct economists' attention to this cost of regulation that is often ignored in economic analyses. We also hope to direct the attention of government law makers and regulators to the fact that impenetrable regulation thickets in unintelligible legalese are more than antiquated quirks of the bureaucratic state. They retard the digital conversion of commerce.

References

- [An04] Anderson, C.: The long tail. Wired, 2004, <https://www.wired.com/2004/10/tail/>, 2019-12-11.
- [Ba19] Bad Writing Contest http://www.denisdutton.com/bad_writing.htm, 2019-12-11.
- [Br18] Brunke, H., Lapsley, J., Mueller, R. A. E., and Sumner, D. A.: Much legalese, few foreign wines. Unpublished manuscript, Kiel, 2018.
- [BM14] Brynjolfsson, E. and McAfee, A.: The Second Machine Age. W. W. Norton, New York, 2014.
- [CS10] Chabris, C. F. and Simons, D. J.: The invisible gorilla. Harpercollins, London, 2010.
- [Du04] DuBay, W. H.: The principles of readability. Costa Mesa, CA, Impact Information, 2004.
- [Fr07] Freedman, A.: The party of the first part. Henry Holt & Co., New York, 2007.
- [Le06] Lessig, L.: Code and other laws of cyberspace: Vers.2.0. Basic Books, New York, 2006.
- [Na18] Nationaler Normenkontrollrat: Jahresbericht 2018. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Berlin, 2018.
- [Sc75] Schultz, T. W.: The value of the ability to deal with disequilibria. Journal of Economic Literature 13(3), pp. 827-846, 1975.
- [Sc80] Schultz, T. W.: Investment in entrepreneurial ability. Scandinavian Journal of Economics 82(4), pp. 437-448, 1980.
- [Sm13] Smith, A.: An inquiry into the nature and causes of wealth of nations. Wordsworth Editions, Hertfordshire, 2013 [1776].
- [Su14] Sunstein, C.: Simpler: The future of government. Simon & Schuster, New York, 2014.
- [Sw08] Swift, J.: Gulliver's travels. Oxford University Press, Oxford, 2008 [1726].
- [Tw97] Twain, M.: A tramp abroad. Penguin Books, New York, 1997 [1880].

Mobiles Hochdurchsatz-Phänotypisierungssystem für Feldversuche in Raps

Dominik Nieberg¹, Mario Jenz¹, Kim Möller¹, Philipp Daniel König¹, Matthias Igelbrink¹, Amine Abbadi², Ulf Feuerstein³ und Arno Ruckelshausen¹

Abstract: Für die sensorgestützte Feldphänotypisierung in der Pflanzenzucht werden bislang meist spezielle Plattformen eingesetzt. Hierdurch stehen den Vorteilen der sensorgestützten Ertragsoptimierung unter anderem hohe Anschaffungskosten und niedrige Nutzungszeiten gegenüber. Des Weiteren braucht es für die Kulturpflanze Raps spezielle Fahrzeugtypen, da hier eine bloße Überfahrt teilweise schwer möglich ist. Diese Arbeit beschreibt ein entwickeltes Multisensorsystem basierend auf dem BreedVision-Konzept [Mö16], welches ohne große Änderungen in kurzer Zeit an konventionelle Maschinen der Feldversuchstechnik montiert werden kann. Durch diese Kombination ergibt sich eine mobile Raps-Phänotypisierungsplattform, welche Merkmale im Bestand erfasst. Weiter werden die Bestände auch mit Drohnen überflogen und diese Daten verglichen. Durch die modulare Gestaltung ist eine hohe Flexibilität des Sensorsystems gegeben. Der Rückbau der Systemtechnik erfolgt nahezu rückstandslos und garantiert somit die vollständige Nutzung der Maschine. Somit können vorhandene Ressourcen effektiv genutzt und Kosten reduziert werden. Das System konnte bereits bei ersten Feldversuchen in Raps eingesetzt und erste feldbasierte Sensordaten erhoben werden.

Keywords: Hochdurchsatz-Phänotypisierung, Outdoor, Multisensorplattform

1 Einleitung

Die sensorgestützte Feldphänotypisierung bietet sich als hilfreiches Werkzeug für eine nicht-invasive Selektion von speziellen Genotypen zur Ertragsoptimierung von Raps an. In Triticale und Mais konnte bereits erfolgreich digitale Merkmalerfassung unter Feldbedingungen durchgeführt werden [Bu10; Su19]. Ebenfalls wies Zhang X. [ZH13] einen Zusammenhang zwischen den Reflexionseigenschaften und der Ertragsbildung von Raps nach. Um unter anderem diese Erkenntnisse effektiv untersuchen zu können, bedarf es einer zuverlässigen Raps-Phänotypisierungsplattform. Leider stehen dem Potenzial der digitalen Hochdurchsatz-Phänotypisierung noch relativ hohe Anschaffungskosten von speziell entwickelten Sensorplattformen gegenüber. Weiter benötigt man für das Befahren von Raps-Versuchspartellen, gerade in fortgeschrittenen Entwicklungsstadien, spezielle Fahrzeugtypen wie z. B. Parzellenscheitelgeräte.

¹ Hochschule Osnabrück, Labor für Mikro- und Optoelektronik, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück, dominik.nieberg@gmail.com / a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

² NPZ Innovation GmbH, Hohenlieth-Hof, 24363 Holtsee, A.Abbadi@npz-innovation.de

³ Deutsche Saatveredelung AG, Steimker Weg 7, 27330 Asendorf, Ulf.Feuerstein@dsv-saaten.de

Im Forschungsprojekt RapiD – vom BMEL und der FNR e.V. geförderten – hat die Hochschule Osnabrück zusammen mit der NPZ Innovation GmbH – NPZ und der Deutsche Saatveredelung AG – DSV ein Sensorsystem entwickelt, welches an bereits vorhandene Raps-Scheitelfahrzeuge montiert werden kann und im weiteren Projektverlauf für die Phänotypisierung von Raps eingesetzt wurde. Dadurch reduzieren sich die Anschaffungskosten auf die Systemtechnik und die Sensortechnik. Wichtig war bei der Entwicklung, dass für die Montage möglichst wenig am bestehenden Fahrzeug verändert werden muss und dass die Montage- und Vorbereitungszeiten für die jeweiligen Messungen möglichst kurz bleiben.

2 Material und Methoden

Als Grundfahrzeuge wurden Parzellenscheitelgeräte der Firma Haldrop vom Typ D-45 verwendet, welche in der Rapszucht oft Anwendung finden. Dieser Fahrzeugtyp ist an die Feldgegebenheiten angepasst und benötigt keine Anpassung der Feldversuchsflächen.



Abb. 1: Entwickeltes und verbautes Sensorsystem an zwei verschiedenen Fahrzeugen im Feldeinsatz; (links) bei der DSV; (rechts) bei der NPZ

Das entwickelte Sensorsystem besteht aus 5 Teilsystemen (Sensorbox, Bedieneinheit, Front Rail, Lichtgittereinheit und Grundhalterung). Die Sensorbox wurde am Heck des jeweiligen Fahrzeuges platziert (siehe Abb. 1), da dort eine konstruktive Anbringung am besten zu realisieren war. Die Halterung besteht aus einem Grundrahmen (Abb. 2 – Pos. 5), welche von unten am Fahrzeug durch eine Klemmvorrichtung montiert werden kann. Die Hauptkomponenten der Infrastruktur sind in den Schaltschränken der Sensorbox (Abb. 2 – Pos. 1) untergebracht. Weiter beinhaltet die Sensorbox eine höhenverstellbare Einheit für Sensoren mit festem Fokus, die durch den Verfahrbereich von 160 cm Datenaufnahmen in den unterschiedlichen Vegetationsperioden ermöglicht. In dieser höhenverstellbaren Einheit sind zur Erfassung der Feuchtigkeit des Pflanzenbestandes sowie Spektraler Indizes (NDVI, NRG, etc.) verschiedene Spektralsysteme (XIMEA Snapshot [600-975 nm], XIMEA Linescan [470-900 nm], EVK DI [960-1700 nm]) integriert worden. Des Weiteren befindet sich hier für die Aufnahme von Wärmebildern

des Bestandes eine Thermografie-Kamera (VarioCAM HD head 780 S). Am festen Teil der Sensorbox wurde für die Korrektur der Wärmebilder eine Wetterstation (Beleuchtungsstärke, Windrichtung, Windgeschwindigkeit) und zur Bewertung der Datenqualität ein Gyroscope-Sensor zur Erfassung von Beschleunigungsdaten des Sensorsystems verbaut. Die Bedieneinheit ist neben dem Lenkrad platziert und besteht aus einem Tablet-PC und verschiedenen Bedienknöpfen, wodurch sich das System einstellen lässt und Messungen gestartet, überwacht und beendet werden können (Abb. 2 – Pos. 2). Oberhalb von Pos. 2 wurde für Dokumentationszwecke und RGB-Bilder eine RGB-Kamera (EOS 2000D) installiert. Die Front-Rail (Abb. 2 – Pos. 3), lässt sich schnell auf verschiedene Fahrzeugbreiten anpassen. Hier wurden zur Aufnahme von 3D-Profilen des Bestandes ein Laserscanner (SICK LMS 400) und ein LiDAR-Sensor (VLP 16) sowie für Abstands- und Dichtemessungen ein Multi-Reflex-Ultraschall-Sensor (iotec) verbaut. Weiter kann die Front-Rail auch an andere Positionen des Fahrzeuges oder direkt an der Sensorbox montiert werden. Die Lichtgittereinheit (RapidoScan) ist stufenlos in der Anbauhöhe verstellbar, besteht aus dem Sender sowie dem Empfänger und ist jeweils seitlich im Fahrzeuginneren untergebracht (Abb. 2 – Pos. 4). Diese Einheit erzeugt einen 1280 mm hohen Lichtvorhang und nimmt das seitliche Schattenprofil des Bestandes auf (Abb. 3). Ein an der Lichtgittereinheit angebrachter Triangulationssensor erfasst kontinuierlich den Abstand zum Boden. Aus diesen Daten können unter anderem Informationen über die Parzellendichte und die Bestandeshöhe ermittelt werden. An der Grundhalterung der Sensorbox (Abb. 2 – Pos. 5) wurden zwei Laserdistanzsensoren mit der Empfangsrichtung zum Boden befestigt. Diese Sensoren liefern Abstandswerte, mit denen sich die Pflanzhöhe bestimmen lässt und Informationen über die Parzellendichte gewonnen werden können.

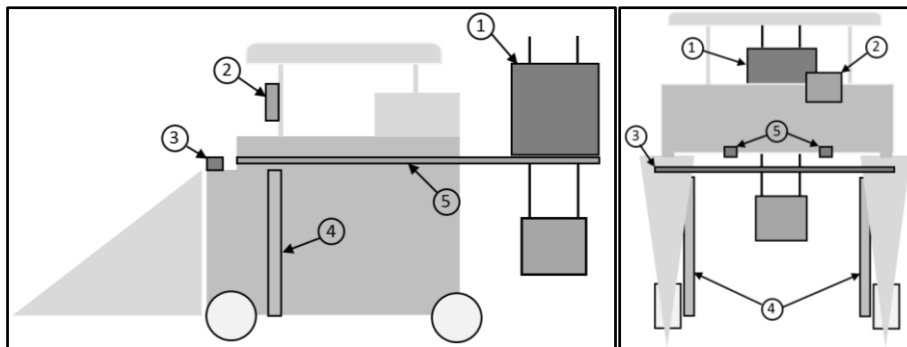


Abb. 2: Schematische Darstellung – Einzelkomponenten am Fahrzeug (links) Seitenansicht, (rechts) Frontansicht; 1: Sensorsystem, 2: Bedieneinheit, 3: Front-Rail, 4: Lichtgittereinheit, 5: Grundhalter Sensorbox

Alle Einzelkomponenten werden über selbst standardisierte Use-Case-Stecker (Harting – 2xEthernet/EtherCat und 24V) mit der Sensorbox verbunden. Lediglich für die Lichtgittereinheit und die Front-Rail mussten insgesamt sechs M6 Gewindebohrungen am Fahrzeug eingebracht werden.

Durch den Anschluss und die Verbindung mit einem Trimble RTK-GPS System werden die GPS-Plotgrenzen erfasst [Je17]. Für den Fall, dass kein RTK-GPS-System vorhanden ist, wurde ein GPS-Empfänger am Sensorsystem (Abb. 2 – Pos. 1) verbaut. Am Fahrzeug verbleiben aus Aufwandsgründen lediglich die hochgenauen Drehgeber, welche an der Radnabe bzw. am Kettenantrieb verbaut wurden. Die verbauten Drehgeber verfügen über eine Auflösung von 1/44 mm bei der NPZ und 1/7 mm bei der DSV. Die Stromversorgung lässt sich über einen 230 V-Stromerzeuger oder eine am Fahrzeug verbaute 24 V-Lichtmaschine realisieren. Die Steuerungs- und Aufzeichnungssoftware basiert auf dem bereits eingesetzten BreedVision-Konzept [Mö16] und wurde für das System entsprechend angepasst.

Das Sensorsystem kann flexibel und platzsparend auf einer Palette mit einem Kleintransporter transportiert werden. Durch die nahezu rückstandlose Demontage-Möglichkeit (Drehgeber und sechs Gewindebohrungen verbleiben), kann das Fahrzeug zwischen den Messungen für seinen gedachten Zweck verwendet werden.

3 Feldeinsatz

Mit dem neu aufgebauten Sensorsystem wurden mehrere Messfahrten im Rahmen des Projekts RapiD durchgeführt (Tab. 1). Hierbei wurde vor allem die Felddauglichkeit getestet.

Entwicklungsstadium	Ort	Datum	Plots	Montage-dauer	Mess-dauer	Demontage-dauer
Stand vor Winter	NPZ	15.11.18	192	32,00	4,75	6,00
Stand vor Winter	DSV	23.11.18	192	20,00	5,50	5,00
Stand nach Winter	DSV	26.02.19	128	5,00	3,25	3,50
Stand nach Winter	NPZ	28.02.19	192	4,50	5,00	3,25
Schossen	NPZ	22.03.19	128	4,00	3,25	3,00
Schossen	DSV	28.03.19	192	3,50	4,50	2,75
Blüte 1. Messung	NPZ	18.04.19	128	3,50	3,25	-----
Blüte 2. Messung	NPZ	23.04.19	128	-----	3,00	2,50
Blüte 1. Messung	DSV	24.04.19	192	3,25	4,75	2,50
Blüte 3. Messung	NPZ	25.04.19	128	3,50	3,00	3,00
Stand vor Ernte	DSV	28.06.19	128	3,50	3,00	3,00
Stand vor Ernte	NPZ	11.07.19	128	3,50	3,00	3,00

Tab. 1: Auflistung der durchgeführten Messungen mit Versuchsstandort, Messzeitpunkt, Parzellenanzahl, Montage-, Mess- und Demontagedauer jeweils in Stunden

Bei den durchgeführten Messungen wurden die Parzellen jeweils doppelt überfahren und vermessen, um die Daten und darauf angewandte Algorithmen auf ihre technische Wiederholbarkeit – zwischen der ersten und zweiten Überfahrt – untersuchen zu können. Das Forschungsteam hat zusammen die jeweiligen Messtermine abgestimmt. Die Vorteile des Sensorsystems und dessen Felddauglichkeit werden besonders für die Erfassung des komplexen Rapsstadiums „Blüte“ deutlich. Hier war es möglich, innerhalb von drei Tagen drei Messungen an zwei verschiedenen Standorten mit zwei verschiedenen Fahrzeugen durchzuführen.

Als Beispiel für die aufgenommenen Sensordaten sind in Abb. 3 Sensorrohdaten des Lichtgittersystems dargestellt. Dieser Ausschnitt zeigt das seitliche Schattenprofil der Parzelle. In der Vergrößerung wird die Qualität der Aufnahmen deutlich.

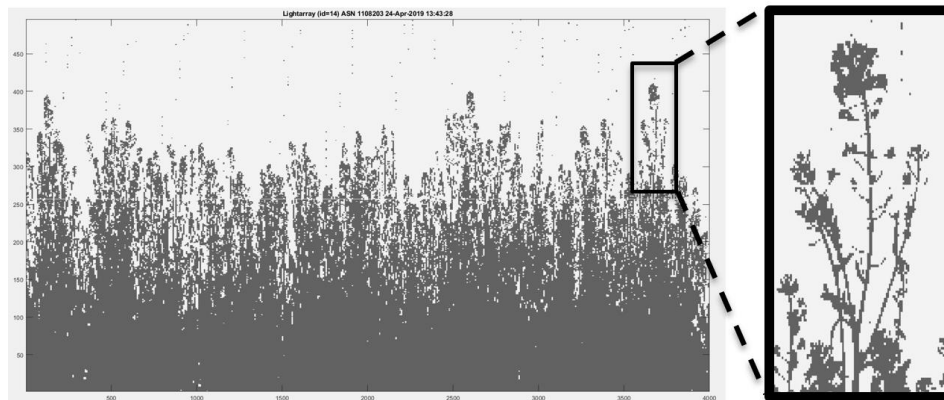


Abb. 3: Sensorrohdaten des Lichtgittersystems von Raps während der Blüte

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die dargestellten Arbeiten zeigen die Felddauglichkeit der erstellten Raps-Phänotypisierungsplattform. Diese wurde auf Grundlage des BreedVision-Konzeptes und auf Basis einer konventionellen Arbeitsmaschine der Raps-Feldversuchstechnik entwickelt. Durch diese Kombination konnten Feldmessungen bei verschiedenen Wachstumsstadien durchgeführt werden.

Die diversen Feldmessungen haben gezeigt, dass das System nach erfolgter Erstmontage in 3,5 h montiert, eingestellt und einsatzbereit sein kann. Somit ist ein sehr flexibler Einsatz des Systems möglich. Darüber hinaus kann das entwickelte Sensorsystem auch an andere Fahrzeuge montiert werden und bietet somit viele Möglichkeiten für die sensorgestützte Phänotypisierung und die Pflanzenzüchter.

Aktuell werden die gesammelten Felddaten aus der Messsaison 2018/2019 ausgewertet. Weiter werden weitere Sensoren auf ihre Eignung für die Phänotypisierung von Raps geprüft.

5 Danksagung

Die Arbeit ist im Rahmen des Forschungsprojekts RapiD (FKZ: 22007716) entstanden und wird durch das BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft), die FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) und die GFPi (Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation e. V.) gefördert.

Literaturverzeichnis

- [Mö16] Möller, K., et. al.: Feldtaugliche Multisensorplattform für High-Throughput Getreidephänotypisierung – Aufbau und Datenhandling. In: Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Rath, T., Recke, G. & Theuvsen, B. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft 2016. Bonn: GIL e.V., S. 137-140, 2016
- [Bu10] Busemeyer, L., et. al.: Agro-sensor systems for outdoor plant phenotyping platforms in low and high density crop field plots; Proceedings 68th International Conference Agricultural Engineering 2010, pp.213-218.
- [Su19] Sun J., et. al.: High-throughput phenotyping platforms enhance genomic selection for wheat grain yield across populations and cycles in early stage; Theoretical and Applied Genetics June 2019, Volume 132, Issue 6, pp 1705-1720;
- [ZH13] Zhang, X., & He, Y. (2013). Rapid estimation of seed yield using hyperspectral images of oilseed rape leaves, ChemistryPublished 2013, DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.06.021
- [Je17] Jenz, M., et. al.: Automatisierte Kennzeichnung von Parzellengrenzen im Versuchsanbau mit Hilfe eines RTK-GPS Systems zur parzellenbasierten Sensordatenzuordnung in: Ruckelshausen, A., Schwarz, H.-P., Theuvsen, B. (Hrsg.): Informatik in der Land-, Forst-, und Ernährungswirtschaft, Referate der 37. GIL-Jahrestagung, 6.-7. März 2017, Dresden, S.73-76, ISBN: 978-3-88579-662-6

Nutzerzentrierte Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche für eine offene Software-Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen

Ulrike Niesse¹, Fabian Gehrs¹, Karsten Morisse¹ und Maximilian Jatzlau²

Abstract: Die Digitalisierung ermöglicht eine innerbetriebliche und betriebsübergreifende Vernetzung der Akteure in landwirtschaftlichen Prozessen und Dienstleistungen. Die offene, dezentrale Software-Plattform ODiL vereinigt den sicheren Datenaustausch und die Durchsetzung der Datenhoheit aller Akteure mit einer einfach und intuitiv bedienbaren grafischen Benutzeroberfläche. Die Entwicklung dieser Oberfläche folgte einem nutzerzentrierten Prozess unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen des landwirtschaftlichen Nutzungskontextes. Im Rahmen eines konstruierten Testszenarios wurde die Benutzeroberfläche durch potenzielle Nutzer geprüft und bewertet, wodurch Schwachstellen erkannt und angepasst werden konnten.

Keywords: Nutzerzentrierte Entwicklung, grafische Benutzeroberfläche, Usability-Test, ODiL

1 Einleitung

Durch die Digitalisierung verändern sich landwirtschaftliche Prozesse wie zum Beispiel das Management von Höfen, die Steuerung von Maschinen oder die Erbringung von Dienstleistungen. Darüber hinaus wird eine betriebsübergreifende Vernetzung der Akteure in landwirtschaftlichen Prozessen und Dienstleistungen ermöglicht. Im Forschungsprojekt ODiL wurde ein Prototyp für eine offene, dezentrale Plattform entwickelt, mit der landwirtschaftliche Akteure zukünftig Dienste und Daten gezielt und sicher austauschen sowie Produkte und Dienstleistungen im landwirtschaftlichen Kontext anbieten und erwerben können [St17, Ba18].

Die grafische Benutzeroberfläche der Software-Plattform soll den Akteuren eine einfache und intuitive Bedienung ermöglichen. Der landwirtschaftliche Nutzungskontext bedingt dabei spezifische Anforderungen. Insbesondere die Diversität der potenziellen Nutzer stellt die Softwareentwicklung vor besondere Herausforderungen [He15]. Um eine hohe Akzeptanz bei zukünftigen Nutzern zu erzielen, ist es wichtig, landwirtschaftliche Akteure, ihre Bedürfnisse und ihr Wissen in den Entwicklungsprozess einzubinden. Auch bezüglich der Aspekte der Dezentralität und des sicheren Datenaustauschs soll mit Hilfe

¹ Hochschule Osnabrück, Medienlabor, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, u.niesse@hs-osnabrueck.de, f.gehrs@hs-osnabrueck.de, k.morisse@hs-osnabrueck.de

² Universität Bonn, Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik, Nußallee 21, 53115 Bonn, maximilian.jatzlau@ilr.uni-bonn.de

der grafischen Benutzeroberfläche eine hohe Akzeptanz erreicht und das Vertrauen in die Plattform durch ein entsprechendes Look-and-Feel gestärkt werden.

Dieses Papier zeigt, dass die Investition in eine nutzerzentrierte Entwicklung dabei hilft, Schwachstellen frühzeitig aufzudecken, anzupassen und hierdurch den Aufwand für diverse nachgelagerte Prozesse in der Softwareentwicklung und -optimierung zu reduzieren. Eine Benutzeroberfläche, deren Gestaltung an die Zielgruppe angepasst ist und eine intuitive, einfache und schnelle Bedienung ermöglicht, kann sich zudem positiv auf die User Experience (das Nutzererlebnis) auswirken [JM17].

2 Methodik

Das methodische Vorgehen zur Entwicklung der grafischen Benutzeroberfläche der Software-Plattform ist an das User-Centered Design angelehnt, das verschiedene Entwicklungsphasen vorsieht und den Nutzer zentral in den Prozess integriert [JM17]. Die Entwicklung der im Projekt ODiL entstandenen Plattform basiert auf den folgenden Phasen, die in Abb. 1 dargestellt sind: Analyse, Konzept, Design, Implementierung und Test.

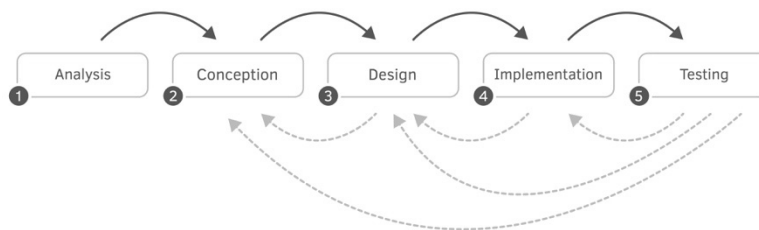


Abb. 1: Visualisierung der Entwicklungsphasen nach [UC19]

Um ein besseres Verständnis für die Zielgruppe und den Nutzungskontext zu entwickeln und die Software-Plattform bestmöglich daran anzupassen, bildeten Gespräche mit potenziellen Nutzern, wie den landwirtschaftlichen Akteuren im ODiL-Projekt, eine hilfreiche Grundlage in der Analysephase. Zur genaueren Definition der zukünftigen Nutzer wurden Personas erstellt – dabei handelt es sich um erdachte Personen, die durch ihre Eigenschaften sowie Arbeits- und Lebensweise für eine bestimmte Zielgruppe stehen und das Verständnis für die Bedürfnisse und Wünsche dieser erleichtern [CRC17]. Ergänzend zu der Zielgruppendefinition bildete in Phase 1 die Erarbeitung der Nutzeranforderungen an die Plattform die Basis für die weitere Konzeption. In Form von User Stories wurden die Anforderungen der Nutzer definiert, indem aus Sicht der potenziellen Nutzer die Gesamtheit aller Funktionen beschrieben wurde [JM17]. Beispiel:

„Als landwirtschaftlicher Akteur möchte ich die Dienstleistungen auf dem Marktplatz durchsuchen und filtern können, um für mich passende Angebote zu finden.“

Auf Grundlage dieses Anforderungskatalogs lag in Phase 2 die weitere konzeptionelle Erarbeitung der Plattform in der Visualisierung des groben Aufbaus der Benutzeroberfläche in Form von Zeichnungen und Wireframes. Letztere sind skizzenhafte Entwürfe der Oberfläche, bei denen konkrete Designentscheidungen vorerst vernachlässigt werden [JM17]. Diese schematischen Darstellungen wurden auf die Erfüllung der Anforderungen der potenziellen Nutzer geprüft und nach Bedarf optimiert. Die in den Wireframes dargestellten Strukturen und Funktionen der Anwendung wurden in Phase 3 mit der Umsetzung in Screendesigns im Detail ausgestaltet. Auf Vorlage dieser Designs erfolgte schließlich die Implementierung der Funktionen in den Prototypen der Plattform. Um zu überprüfen, ob die Benutzeroberfläche der Anwendung eine intuitive Bedienung ermöglicht und den Anforderungen der zukünftigen Zielgruppe genügt, wurde in Phase 5 der Prototyp in Form eines Usability-Tests untersucht. Dieser dient dazu, mögliche Schwachstellen in der Bedienung der Software, aber auch in der Gestaltung der Benutzeroberfläche durch potenzielle Nutzer zu ermitteln. Zur Überprüfung und Feinjustierung des Testablaufs wurde zunächst mit fünf Probanden ein Pretest durchgeführt.

Für die Akzeptanzuntersuchung, mit der die ODiL-Software-Plattform auf ihren Gesamteindruck mit dem Fokus auf die grafische Benutzeroberfläche untersucht wurde, fiel die Wahl auf eine Kombination aus einem Testszenario, lautem Denken, Eyetracking sowie einem Fragebogen. Die Entwicklung eines Testszenarios verfolgt das Ziel, den Probanden die Funktionen und Inhalte der Plattform näherzubringen und ihnen eine Beurteilung dieser zu ermöglichen. Das Szenario umfasst Aufgaben, die es von den Probanden zu lösen gilt und durch die gesichert ist, dass möglichst viele Bereiche der Software kennengelernt, angewendet und überprüft werden.

Neben dem Testszenario wurde auf Grundlage des meCUE-Modells [MR13] ein Fragebogen entwickelt, mit welchem anhand von 31 Statements die Benutzeroberfläche auf einer fünfstufigen Likert-Skala allgemein und in den Bereichen Layout, Nutzung und Inhalt beurteilt werden konnte und der in Kombination mit offenen Fragen zielführendes Nutzerfeedback ermöglichte. Zudem wurden soziodemografische und betriebliche Merkmale abgefragt.

Für die Akzeptanzuntersuchung kamen die Tobii Glasses [TP15] zum Einsatz – eine Eyetracking-Brille, mit der die Augenbewegungen und Fixationen auf der Benutzeroberfläche aufgezeichnet werden. Ergänzend dazu wurden die Probanden angehalten, ihre Gedanken laut mitzuteilen, um diese nachzuvollziehen und zu protokollieren. Jeder Proband durchlief zunächst das vorgegebene Szenario und füllte anschließend den Fragebogen aus.

An dem Usability-Test haben 15 Landwirte sowie Mitarbeiter im Umfeld von Landwirtschaftsbetrieben teilgenommen, die im Bereich des Ackerbaus tätig sind. Die benötigte Zeit für den Usability-Test betrug durchschnittlich 45 Minuten.

3 Ergebnisse

Nach der Durchführung des Usability-Tests wurden die Ergebnisse aller Probanden zusammengetragen, die Redundanzen eliminiert und die gefundenen Schwachstellen priorisiert. In Abb. 2 wird eine Übersicht und Bewertung der einzelnen Aufgabenbearbeitungen jedes Probanden dargestellt.

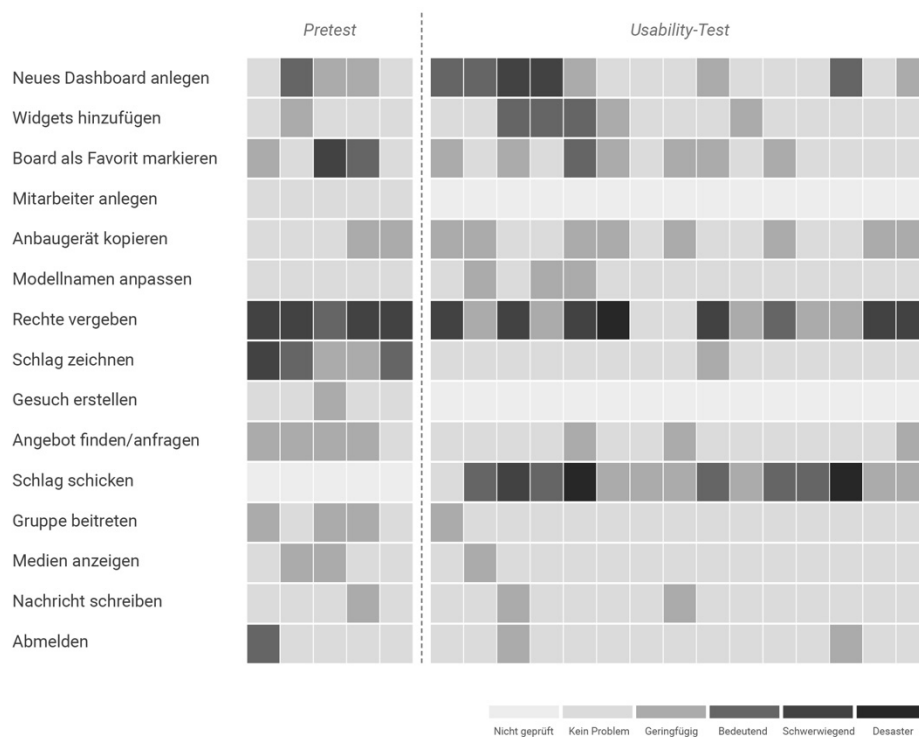


Abb. 2: Übersicht der Aufgabenbearbeitung und -bewertung

Hinsichtlich der Bedienung und Gestaltung der Benutzeroberfläche konnte insgesamt ein positives Ergebnis erzielt werden. Im Rahmen der offenen Fragen wurde insbesondere eine einfache und intuitive Bedienung, Übersichtlichkeit sowie ein modernes und klares Design der Plattform genannt. Auch die Navigation wurde als positiver Aspekt wiederholt erwähnt („gute Strukturierung“, „Übersicht links, in der man einzelne Themenblöcke leicht findet“) und trägt so zu einer intuitiven Nutzung bei. Die Plattform funktionierte laut der Probanden wie erwartet und Rückmeldungen der Software waren verständlich. Die insgesamt sehr positiven Antworten im offenen Teil des Fragebogens spiegeln sich auch in der Auswertung der einzelnen Items wider. In der Kategorie „Gestaltung“ konnte ein Mittelwert von 1,62 erzielt werden, was auf der Skala einer positiven Bewertung der

Items zwischen „trifft voll zu“ (= 1) und „trifft zu“ (= 2) entspricht. Die Auswertung der Kategorie „Nutzung“ ergibt einen Mittelwert von 1,85. Hinsichtlich der allgemeinen Bewertung, in der Items wie „Die Plattform wirkt vertrauenswürdig“ abgefragt wurden, liegt der Mittelwert bei 1,57. Eine abschließende Gesamtbewertung der Software-Plattform auf einer sechsstufigen Skala (1 = „gut“ bis 6 = „schlecht“) ergab einen Mittelwert von 2.

Neben einem positiven Gesamtergebnis des Fragebogens konnten durch die Beobachtungen der Aufgabenbearbeitung im Usability-Test Bereiche mit Optimierungsbedarf ermittelt werden. Im Zuge des Pretests stellte sich beispielsweise das Einzeichnen von Schlägen auf einer Karte als Schwachstelle heraus. Den Probanden waren die dafür notwendigen Schritte nicht ohne Hilfestellung durch die Testleitung klar. Um das Einzeichnen eines Schlags intuitiver zu gestalten, wurde nach dem Pretest ein kurzer Hinweistext am unteren Rand der Karte integriert. Im Usability-Test gelang es 14 von 15 Probanden problemlos, einen Schlag in die Karte einzuzeichnen, sodass diese zuvor als Schwachstelle ermittelte Funktion optimiert werden konnte.

Neben dieser und weiteren Funktionen zum Managen von Hofdaten verfügt die Software-Plattform außerdem über ein Rollensystem, bei dem ein Nutzer genau eine Rolle hat, die Berechtigungen auf die in der Plattform vorhandenen Ressourcen definiert. Dieses Rollenkonzept hat sich in dieser oder sogar in einer komplexeren Variante, bei der ein Nutzer nicht nur eine, sondern mehrere Rollen haben kann, etabliert [TS17]. Den Beobachtungen im Pretest nach konnten sich die Probanden das Konzept der Rollenverwaltung nicht selbstständig erschließen. Trotz einer Anpassung des Bereichs der Rollen wurde im anschließenden Usability-Test keine erhebliche Verbesserung in der Bearbeitung der Aufgabe erzielt. Der Usability-Test deckte außerdem Schwachstellen in Bereichen auf, die im Pretest noch nicht überprüft wurden, da die Entwicklung des Prototyps zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollkommen abgeschlossen war. Dies wird an der Aufgabe deutlich, einen Schlag im Bereich des Marktplatzes bei der Aushandlung einer Dienstleistung zu schicken. Sowohl bei dieser als auch bei der zuvor genannten Schwachstelle ist in der weiteren Entwicklung der Software-Plattform eine Optimierung und ein erneutes Testen notwendig, um die Usability zu verbessern.

4 Fazit

Die Durchführung des Usability-Tests in der Entwicklung der Software-Plattform konnte zeigen, wie wichtig eine Überprüfung der Benutzeroberfläche durch die zukünftige Zielgruppe ist. Insgesamt wurde ein positives Ergebnis hinsichtlich der Bewertung der Benutzeroberfläche erzielt. Schwachstellen wurden aufgedeckt und angepasst, wodurch die ODiL-Software-Plattform sowie deren Usability kontinuierlich verbessert und nutzergerecht weiterentwickelt werden konnte.

Ein nutzerzentrierter Entwicklungsprozess kann schnell zu Optimierungen in der Benutzeroberfläche führen, wie am Beispiel der Einzeichnung von Schlägen gezeigt

werden konnte. Durch die Expertise der Probanden und ihrer Vorerfahrung mit anderer Software ließen sich anhand der Beobachtungen im Usability-Test Verbesserungsansätze ableiten. Es kann jedoch auch vorkommen, dass bereits optimierte Schwachstellen wiederholt geprüft und angepasst oder sogar gänzlich überdacht werden müssen, wie sich beispielsweise im Bereich der Rollenverwaltung zeigte. Hier wurde deutlich, dass vermeintlich bekannte Konzepte, wie die Vergabe von Berechtigungen in Form von Rollen, nicht bei allen Nutzergruppen im gleichen Maße funktionieren müssen. Etwaige Erkenntnisse können nur durch die Integration der Zielgruppe in die Entwicklung gewonnen werden.

Rechercharbeiten im Rahmen der Akzeptanzuntersuchung haben gezeigt, dass sich eine nutzerzentrierte Softwareentwicklung im landwirtschaftlichen Kontext bisher nicht etabliert hat. Im Forschungsprojekt ODIL wurde jedoch deutlich, wie wichtig eine frühzeitige Einbindung der Nutzer, die gezielte Reaktion auf ihr Feedback und eine iterative Optimierung ist. Dies hat zu einem Prototyp geführt, der bereits in großem Maße die Bedürfnisse, Kenntnisse und Anforderungen der zukünftigen Nutzer berücksichtigt und über eine hohe Akzeptanz verfügt.

Literaturverzeichnis

- [Ba18] Bauer, J.; Gehrs, F.; Jatzlau, M.; Scheuren, S.: Dezentraler Marktplatz in einer offenen, dezentralen Software-Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen. In (Ruckelshausen, A. et al., Hrsg.): Referate der 38. GIL-Jahrestagung in Kiel – Digitale Marktplätze und Plattformen. Köllen, Bonn, S. 35-38, 2018.
- [CRC17] Cooper, A.; Reimann, R.; Cronin, D.: About Face 3. The Essentials of Interaction Design, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, 2007.
- [He15] Hess, S.; Kiefer, F.; Wack, K.-J.; Magin, D.: Agrarwirtschaft meets Mobile UX. Wie Apps zukünftig die Landwirtschaft unterstützen, In (Fischer, H.; Endmann, A.; Krökel, M., Hrsg.): Mensch & Computer 2015. De Gruyter, Berlin, S. 203- 212, 2015.
- [JM17] Jacobsen, J.; Meyer, L.: Praxisbuch Usability und UX. Rheinwerk Verlag, Bonn, 2017.
- [MR13] Minge, M.; Riedel, L.: meCUE – Ein modularer Fragebogen zur Erfassung des Nutzungserlebens. In (Boll, S.; Maaß, S.; Malaka, R., Hrsg.): Mensch & Computer 2013. Oldenbourg Verlag, München, S. 89-98, 2013.
- [St17] Stiene, S.; Scheuren, S.; Günther, M.; Lingemann, K.; Lauer, A.; Bernardi, A.; Hertzberg, J.: Architektur einer offenen Software-Plattform für landwirtschaftliche Dienstleistungen. In (Ruckelshausen, A. et al., Hrsg.): Referate der 37. GIL-Jahrestagung in Dresden – Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft. Gesellschaft für Informatik, S. 141-144, 2017.
- [To15] Eye tracking technology for research – Tobii Pro, www.tobii.com, Stand: 25.10.2019
- [TS17] Tsoikas, A.; Schmidt, K.: Rollen und Berechtigungskonzepte. Identity- und Access-Management im Unternehmen, 2. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017.
- [Us19] User-centered design – Artificial Industry – Medium, medium.com/artificial-industry/user-centered-design-ac0889e3e1e2, Stand: 04.11.2019

Digitale Agrarprozesse für eine nachhaltige und verordnungskonforme Landwirtschaft am Beispiel einer kooperativen Flüssigmistausbringung

Frank Nordemann¹, Thorben Iggena¹, Franz Kraatz¹, Maik Fruhner¹, Heiko Tapken¹ und Ralf Tönjes¹

Abstract: Eine zunehmende Anzahl von Agrarprozessen wird in Kooperation verschiedener Akteure bearbeitet. Eine Silomaisernte verlangt nach einem optimierten Zusammenspiel von Erntemaschine, abfahrenden Traktorgespannen, Waage und Siloverdichtung. Bei einer teilflächenspezifischen Flüssigmistausbringung müssen Ausbringwagen, Zubringer, Analysewerkzeuge sowie Applikationskartenberechnung, Maschinenauftragserstellung und Nährstoffdokumentation aufeinander abgestimmt werden. In der Praxis fehlt es an ganzheitlich digitalisierten Agrarprozessen, die kooperierende Akteure in ihren Tätigkeiten unterstützen. Dieser Beitrag veranschaulicht an den Ergebnissen des dreijährigen Forschungsprojektes OPeRAte, wie durch teilautomatisierte und medienbruchfrei umgesetzte Prozesse Anwender in ihren Tätigkeiten unterstützt werden können. Ganzheitlich digitalisierte Agrarprozesse begünstigen Umweltaspekte beispielsweise durch die Einhaltung von gesetzlichen Verordnungen, die Bereitstellung automatisierter Dokumentationen und die Durchführung von Optimierungsanalysen für ein effizientes Nährstoffmanagement.

Keywords: Kooperative Agrarprozesse, Prozessmodellierung, Prozesssteuerung, integrierte Datenhaltung, automatisierte Dokumentation, BPMN, MQTT, ISOXML, ISOBUS, OPeRAte

1 Motivation und Problemstellung

Die Digitalisierung hat in der Agrartechnik zu Effizienzsteigerungen bei der Produktion landwirtschaftlicher Güter geführt. Allerdings sind die erhofften Erleichterungen und Verbesserungen für die ausführenden Menschen und die Umwelt vielfach nicht eingetreten: Aufgrund fehlender oder inkompatibler Daten und Formate, nicht medienbruchfreier und aufwendiger Prozessabläufe sowie komplexer Bediensoftware werden IT-Systeme oftmals nicht als unterstützende Werkzeuge, sondern als Hindernisse von den Anwendern wahrgenommen. Zusätzlich erschweren ausgeprägte rechtliche Verordnungen, deren Einhaltung und deren Dokumentation den Arbeitsprozess, wie dies beispielsweise novellierte Vorschriften zur Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers verlangen. Vielfach kann die tatsächliche Ausführung der Arbeiten diesen Ansprüchen nicht genügen – mit negativen Folgen für den verantwortlichen Landwirt und die Umwelt.

Auf Basis der Ergebnisse des dreijährigen BMEL-Forschungsprojektes OPeRAte [OP19] wird nachfolgend veranschaulicht, wie die Digitalisierung den Menschen bei der Bear-

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, {f.nordemann;t.iggena;f.kraatz;m.fruhner;h.tapken;r.toenjes}@hs-osnabrueck.de

beitung und Dokumentation von kooperativen Agrarprozessen unterstützen und gleichzeitig negative Belastungen für die Umwelt reduzieren kann.

2 Kooperative Agrarprozesse

Stellvertretend für kooperative Agrarprozesse wird nachfolgend ein Prozess zur Flüssigmistausbringung genutzt, um die Herausforderungen und Potenziale der Digitalisierung von kooperativen Prozessen darzustellen.

2.1 Gängiger Prozess zur Flüssigmistausbringung

An der Ausbringung von Flüssigmist sind neben dem Landwirt (LW) oftmals weitere Akteure beteiligt: Precision-Farming-Anbieter erstellen Applikationskarten für eine teilflächen- und nährstoffspezifische Düngung, digitale Dienste wandeln Applikationskarten in Maschinenaufträge um, Lohnunternehmer (LU) führen die Düngung durch, Behörden nehmen die Dokumentation entgegen (vgl. Abb. 1). Die Koordination der Akteure erfolgt telefonisch, mittels E-Mails oder in Briefform. Aufgrund der Diversität der Informationskoordination und der zeitlichen Abstände zwischen den Prozessschritten, die sich über ein ganzes Anbaujahr hinziehen können, entspricht die Düngedokumentation nicht immer den an sie gestellten Ansprüchen. Auch die komplexer werdende Ausführung unter Einhaltung der Düngeverordnung bietet Fehlerpotenziale. Abb. 1 fasst mögliche Fehlerpotenziale in den Prozessschritten grafisch zusammen.

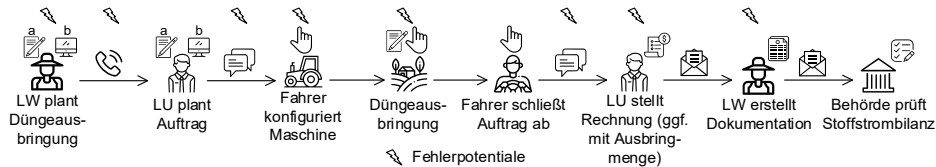


Abb. 1: Heute gängiger Prozess zur Düngeausbringung ohne durchgehende Digitalisierung

Die Digitalisierung hat bereits einzelne Prozessabschnitte erreicht, wie z. B. die steigende Verwendung von Farmmanagementsystemen zeigt. Herausfordernd bleibt, die einzelnen Prozessschritte nicht mit Insellösungen zu bedienen, sondern durchgehende und akteurübergreifende Lösungen für kooperative Prozesse bereitzustellen.

2.2 Ganzheitlich digitalisierter Prozess zur Flüssigmistausbringung

Eine Steigerung des Nutzens der Digitalisierung für die Anwender und die Umwelt kann durch eine Optimierung kooperativer Prozessabläufe erreicht werden. Dabei sollen Anwender durch eine geführte Teilautomation in ihren Arbeiten unterstützt und geleitet

werden. Ein ganzheitlicher, medienbruchfreier Flüssigmistprozess mit automatisierter Dokumentation ist in Abb. 2 dargestellt. Er basiert auf den Forschungsergebnissen des OPeRAte-Projektes.

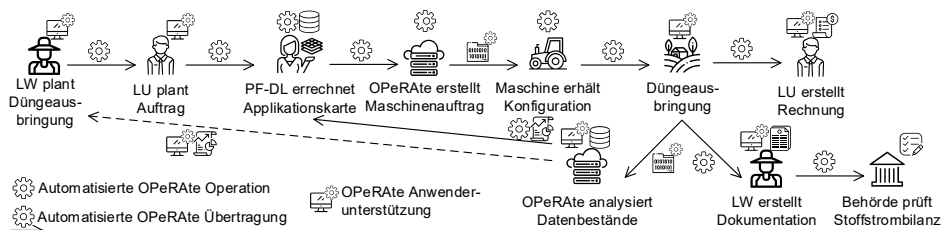


Abb. 2: Ganzheitlich digitalisierter Düngeprozess mit automatisierter Dokumentation in OPeRAte

Der Prozess umfasst neben einem beauftragenden Landwirt einen Precision-Farming-Dienstleister (PF-DL), einen ausführenden Lohnunternehmer, Dienste zur Datenverarbeitung und Dokumentation sowie eine Behörde. Bei der Prozessausführung wird der Anwender durch automatisierte Abläufe entlastet, was die Fehleranfälligkeit der Ausführung und Dokumentation reduziert. Auf manuelle Eingaben von Auftragsdaten und Konfigurationen wird verzichtet. Automatisierte Prozessabläufe unterstützen bei der Datenerfassung, Datenbereitstellung, Prozessvisualisierung und Prozessüberwachung. Mittels einer ISOBUS-basierten Maschinenbeschreibung [IS07] können Agrarprozesse bei der Maschinenkopplung erkannt werden, ohne dass eine vorherige Detailplanung zwingend notwendig ist. Durch die Aufnahme und Verarbeitung von Prozessdaten können Berichte für Behörden automatisiert und verordnungskonform erstellt und später auch digital übertragen werden (z. B. in Niedersachsen mittels ENNI, vgl. [LN19]). Die in OPeRAte unter Einbeziehung des Datenschutzes erstellte Datenarchitektur ermöglicht es dem Anwender, seine Aufträge mit zugehörigen Daten für andere Akteure digital bereitzustellen. Dies ermöglicht neben einem vereinfachten Ablauf auch die Durchführung von ökologischen und ökonomischen Optimierungsanalysen zum Nährstoffeinsatz.

3 Technische Realisierung digitaler Agrarprozesse

Die in OPeRAte erarbeitenden Methoden und Lösungskonzepte basieren auf freien, nicht proprietären Technologien, die von allen Akteuren eingesetzt werden können. Während die Schnittstellen zwischen den Akteuren eindeutig definiert werden, verbleiben sie frei in der Ausgestaltung der einzelnen Prozessschritte und den dazu eingesetzten Technologien und Vorgehensweisen.

3.1 Akteurübergreifende Prozessdefinition und -steuerung

Auf Basis der Modellierungssprache Business Process Model and Notation 2.0 (BPMN, [OM11]) werden Abläufe strukturiert und Medienbrüche vermieden, ohne dass die Ak-

teure Details ihrer Arbeitsweise und IT-Struktur offenlegen müssen. Das Prozessmodell integriert den Informationsaustausch zwischen IT-Diensten (z.B. mittels REST) und die Anbindung von Agrarmaschinen (mittels MQTT, [OA19]). Aus den einzelnen Prozessschritten ergibt sich ein gemeinsames Prozessmodell, das Abb. 3 aus Sicht eines koordinierenden OPeRate-Prozessmanagements darstellt. Das Prozessmodell beschreibt die Kooperation der Akteure sowie einzelne Prozessschritte und kann mit BPMN Runtime Engines zur Ausführung erweitert werden.

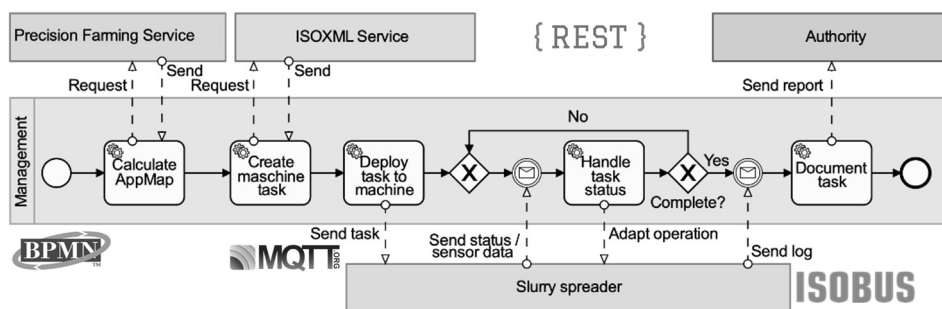


Abb. 3: Gemeinsame BPMN-Prozesssicht verschiedener Akteure auf einen Flüssigmistprozess

Innerhalb des OPeRate-Projektes wurde eine BPMN-Erweiterung konzeptioniert, um auch bei unterbrechungsbehafteter Kommunikation eine robuste Prozessausführung gewährleisten zu können. Mit Hilfe des Microservice-Architekturstils [SN15] können in sich gekapselte, verschiebbare Funktionseinheiten entworfen werden, die Prozessschritte lokal auf der Maschine fortsetzen, wenn externe Akteure durch Kommunikationsunterbrechungen nicht erreichbar sind [NTP20].

Ein BPMN-Modell bildet die Basis für den kooperativen Prozess. Der Landwirt und der Lohnunternehmer mit seinen beteiligten Mitarbeitern steuern und überwachen den Prozess über benutzerfreundliche Oberflächen, ohne technische Details von Modell und Implementierung kennen zu müssen. Auf der ausführenden Landmaschine steht dem Anwender ein Landmaschinenterminal zur Verfügung, das ihn bei der ordnungskonformen Durchführung beispielsweise durch Einblendung von Abstands- und Sperrflächen unterstützt.

3.2 Datenschutzkonforme Integration von Prozessdaten

Ein wichtiger Bestandteil zur digitalen Unterstützung von Agrarprozessen ist die Datenerhaltung und deren Integration in den Prozess bei gleichzeitiger Einhaltung des Datenschutzes. Durch die Nutzung von Technologien wie Row-Level-Security [Po19] und Privacy-by-Design-Ansätzen im Datenbankmanagementsystem ist dies im OPeRate-Projekt gegeben. Die Rechte an den Daten verbleiben beim jeweiligen Nutzer und sind nur von diesem einsehbar. Gezielte Freigaben während eines Prozessablaufs ermögli-

chen die benötigte Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren, wie z. B. Landwirt und Lohnunternehmer.

Neben den manuell eingegebenen Daten und den bei der Durchführung generierten Sensor- und Statusdaten werden externe Daten zur Anreicherung bestehender Datensätze kontinuierlich importiert. Die Datenhaltung ist z. B. darauf ausgelegt, historische Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes und multispektrale Satellitenbilder des Sentinel-2-Programms der ESA [ES19] aus öffentlichen Schnittstellen zu integrieren. Diese können durch geo-temporale Metadaten mit den in der Datenbank vorhandenen Auftragsdaten verknüpft werden. Dadurch bieten sich neue Möglichkeiten, wie etwa Big-Data-Analysen zur Optimierung von ähnlichen Prozessabläufen in der kommenden Saison.

4 Prototypische Evaluierung

Prototypische Tests der OPeRAte-Werkzeuge zur Prozessplanung und -steuerung (vgl. Abb. 4) belegen die Unterstützung der ausführenden Anwender und vermindern durch die Einhaltung von Verordnungen negative Umwelteinflüsse. Langfristig sind durch Datenanalysen vergangener Anbaujahre weitere Verbesserungen bei der nachhaltigen Düngung zu erwarten.

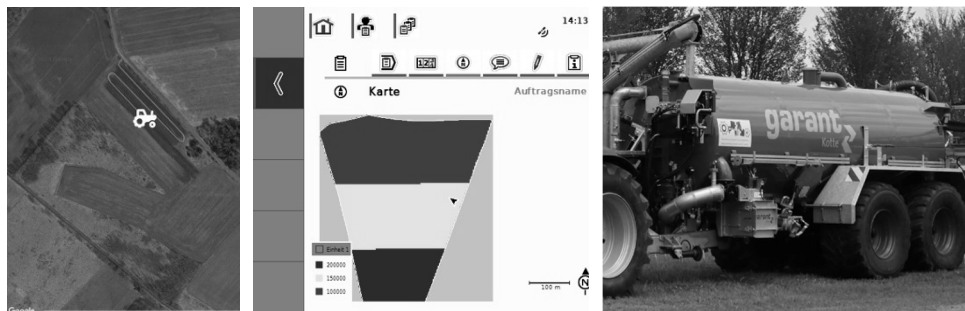


Abb. 4: Prozessstatus a) im Web und b) auf der Landmaschine, c) OPeRAte-Flüssigmistwagen

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ganzheitlich digitalisierte Agrarprozesse können durch Teilautomatisierung dem Anwender fehlerbehaftete Arbeitsschritte abnehmen und Hilfestellung bei der verordnungskonformen Prozessausführung geben. Die Reduzierung negativer Umwelteinflüsse kann durch kontinuierliche Optimierungsanalysen zum Nährstoffeinsatz auf Basis automatisierter Prozessdatenintegration und der Datenverarbeitung verschiedener Anbaujahre unterstützt werden.

Die Erfahrungen aus dem OPeRate-Projekt zeigen, dass für eine Akzeptanz der entwickelten Konzepte eine hohe Benutzerfreundlichkeit hinsichtlich der Werkzeugbedienung und der Nachvollziehbarkeit automatisierter Arbeitsschritte kritische Faktoren sind. Weiterhin sind freie, nicht proprietäre Technologien wie BPMN, REST, MQTT, ISOBUS / ISOXML von hoher Bedeutung, um einen durchgängigen, akteurübergreifenden Prozess modellieren und ausführen zu können. In diesem Hinblick sind insbesondere die Standardisierungsbemühungen der AEF für ein einheitliches Format zur drahtlosen Übertragung von Agrardaten (EFDI, [AI19]) positiv zu bewerten. Die Weiterentwicklung der in OPeRate prototypisch evaluierten Konzepte und Werkzeuge zu einer marktreifen Produktlösung wird von den Projektpartnern in einem Folgeprojekt angestrebt.

Die Förderung des OPeRate-Projektes 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

- [AI19] Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF): Extended FMIS Data Interface (EFDI), Project Team 09, www.aef-online.org, Stand: 22.10.2019.
- [ES19] European Space Agency (ESA): Copernicus Sentinel-2 Mission, <http://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, Stand: 22.10.2019.
- [IS07] ISO 11783 Part 1-14, Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communications data network, Beuth Verlag, 2007.
- [LN19] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Elektronische Nährstoffmeldungen Niedersachsen (ENNI), www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/meldeprogrammwirtschaftsduenger/nav/2378.html, Stand: 22.10.2019.
- [NTP20] Nordemann, F., Tönjes, R., Pulvermüller, E.: Resilient BPMN – robust process modeling in unreliable communication environments, MODELSWARD, Malta, 2020.
- [OA19] Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS), Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), www.oasis-open.org/committees/te_home.php?wg_abbrev=mqtt, Stand: 22.10.2019.
- [OM11] Object Management Group (OMG), Business Process Model and Notation (BPMN) v2.0 Spezifikation, 2011, www.bpmn.org, Stand: 22.10.2019.
- [OP19] OPeRate-Forschungsprojekt, Orchestrierung von Prozessketten für eine datengetriebene Ressourcenoptimierung in der Agrarwirtschaft und -technik, www.operate.edvsz.hs-osnabrueck.de, Stand: 22.10.2019.
- [Po19] PostgreSQL: Row Level Security, www.postgresql.org/docs/10/ddl-rowsecurity.html, Stand: 22.10.2019.
- [SN15] Sam Newman: Building Microservices, O'Reilly Media, Sebastopol, California, 2015.

Digitales Gesundheitsmonitoring einer Milchviehherde

Johanna Pfeiffer¹, Jana Bolduan², Markus Gandorfer¹ und Eva Zeiler³

Abstract: Auf einem Milchviehbetrieb wurde 65 Kühen ein Pansenbolus zur kontinuierlichen Erfassung von Bewegungsaktivität und Körperkerntemperatur eingegeben. Basierend auf einzeltierspezifischen Entscheidungsalgorithmen gibt das Sensorsystem bei Auffälligkeiten, welche die Gesundheit betreffen, Meldungen aus. Die Sensormeldungen werden mit am Betrieb dokumentierten Krankheitsdiagnosen (Pro Gesund) abgeglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den gewählten Betrachtungszeiträumen bei 64 % aller klinischen Hypokalzämien, bei 40 % aller Mastitiden und bei 9 % aller Erkrankungen des Bewegungsapparates gesundheitsspezifische Meldungen vom Sensorsystem vorlagen. Daraus resultiert ein gewisses Potenzial des Sensorsystems zur Unterstützung des Gesundheitsmonitorings einer Herde, welches jedoch stark von der Diagnosegruppe abhängt.

Keywords: Pansenbolus, Sensor, Gesundheit, Milchvieh, Monitoring, Früherkennung

1 Einleitung

Tierindividuelle Sensoren für die Milchkühe haben schon vor vielen Jahren in der Tierhaltung Einzug gehalten. Anfangs auf die Unterstützung beim Reproduktionsmanagement fokussiert, sind sie nun auch zur Früherkennung von Kalbungen und für das Gesundheitsmonitoring anwendbar. Da sich die Parameter Körperkerntemperatur [AOR13; Ve16] und Aktivitätsverhalten [Ne16; Ch17] in einem Krankheitsfall verändern können, liegt es nahe, dass sie mögliche Indikatoren für das Gesundheitsmanagement einer Milchviehherde sind. Ein Monitoring von Milchkühen mit modernen Sensorsystemen bietet deshalb eine kontinuierliche Aussage über ihren aktuellen Gesundheitsstatus. Je nach Erkrankung oder weiteren Auffälligkeiten wird deren frühzeitiges Erkennen erhofft, da zum einen eine kontinuierliche manuelle Erfassung von Indikatoren wie der Körperkerntemperatur in der Praxis schwer realisierbar ist und es zum anderen schwierig ist, rasch visuell zu erkennen, wenn sich das Verhalten oder der Zustand eines Tieres zu verändern beginnt.

Die Erfahrung zeigt, dass Milchviehhalter bei einer Anwendung von Sensorsystemen oftmals einer hohen Informationsflut ausgesetzt sind [MRH12; Ru13]. Beim Praxisein-

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Kleeberg 14, 94099Ruhstorf a. d. Rott, johanna.pfeiffer@lfl.bayern.de; markus.gandorfer@lfl.bayern.de

² Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Emil-Erlenmeyer-Forum 5, 85354Freising, jana.bolduan@tum.de

³ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Tierproduktionssysteme in der ökologischen Landwirtschaft, Am Staudengarten 1, 85354 Freising, eva.zeiler@hswt.de

satz von Sensorsystemen kristallisierte sich heraus, dass teilweise viele Meldungen an den Landwirt ausgegeben werden, deren Deutung und Einordnung nach Relevanz für den Landwirt nicht trivial ist. Die Herausforderung für Milchviehalter ist es schließlich, Meldungen des Sensorsystems zu interpretieren und, falls notwendig, Maßnahmen einzuleiten.

Ziel dieser Arbeit ist es, darzulegen, inwiefern ein ausgewähltes Sensorsystem zum Gesundheitsmonitoring einer Milchviehherde beitragen kann. Hierfür werden kontinuierliche Aktivitäts- und Körperkerntemperaturmessdaten und darauf basierende Meldungen aus einem Praxiseinsatz von Pansenboli in einem Milchviehbetrieb analysiert.

2 Material und Methode

Auf dem Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Milchvieh- und Rinderhaltung Achselchwang (Bayern, Deutschland) wurde 65 Milchkühen unterschiedlicher Rassen (vorwiegend Fleckvieh, zudem Brown-Swiss, Rot- und Schwarzbunte) im Jahr 2018 ein Pansenbolus Classic (smaXtec animal care GmbH, Graz, Österreich) eingegeben. Die Pansenboli erfassen kontinuierlich Bewegungsaktivität und Körperkerntemperatur inklusive Anzahl der Trinkzyklen (indirekt über die Körperkerntemperatur) und schließen darauf basierend auf Brunst, Abkalbung und Gesundheitszustand. Die analysierten Daten stammen aus dem Zeitraum Juli 2018 bis Juli 2019.

Der Pansenbolus sendet Meldungen an den Landwirt, wenn er Veränderungen der erfassten Parameter als auffällig einstuft. Dies basiert einzeltierspezifisch auf Entscheidungsalgorithmen, welche die Historie des individuellen Tieres miteinbeziehen. Die Meldungen in Bezug auf die Gesundheit umfassen die Kategorien Erhöhung der Körperkerntemperatur, Verminderung der Körperkerntemperatur, Verminderung der Bewegungsaktivität und zu geringe Anzahl an Trinkzyklen pro Tag.

Parallel dazu existieren Dokumentationen der Herdenmanager zu Krankheiten, deren Beobachtungen und Diagnosen im Rahmen des Projekts Pro Gesund jeweils vom Hof-tierarzt gestellt beziehungsweise bestätigt wurden. In dieser Auswertung werden die Diagnosegruppen Mastitiden, klinische Hypokalzämien und Erkrankungen des Bewegungsapparates analysiert. Alle Mastitiden wurden durch Erregernachweise mittels Milchprobenahme (inklusive nachfolgendem Schalmtest, bakteriologischer Milchuntersuchung und gegebenenfalls nötigem Resistenztest) bestätigt. Die dokumentierten Diagnosen werden schließlich mit den vom Sensorsystem ausgegebenen, gesundheitspezifischen Meldungen abgeglichen. In diesem Schritt wird krankheitsspezifisch beurteilt, bei welchem Anteil der Krankheitsfälle eine Sensormeldung im Zeitraum von 6 Tagen vor (d-6) bis einem Tag nach (d+1) der dokumentierten Erstdiagnose (d0) ausgegeben wurde. Für das Krankheitsbild der klinischen Hypokalzämie wird der Betrachtungszeitraum auf d-2 bis d+1 eingegrenzt. Für alle drei Diagnosegruppen wird für den jeweiligen Betrachtungszeitraum die Sensitivität des im Sensor implementierten Algorithmus berech-

net (Anzahl richtig-positiver Diagnosen / Anzahl aller Diagnosen, in %). Dafür werden je Erkrankungsfall der Tag der Erstdiagnose und der Tag der ausschließlich ersten Meldung des Sensorsystems berücksichtigt. Zwei Diagnosen derselben Diagnosegruppe an einem Tier müssen mindestens 14 Tage auseinander liegen, um als zwei unabhängige Diagnosen gewertet zu werden (siehe auch [KMC19]). Bei Diagnosen unterschiedlicher Diagnosegruppen trifft dies nicht zu.

3 Ergebnisse und Diskussion

In die Auswertung werden insgesamt 42 Mastitiden, 14 klinische Hypokalzämien und 23 Erkrankungen des Bewegungsapparates miteinbezogen. Abbildung 1 visualisiert den Tag der jeweils ausschließlich ersten Meldung des Sensorsystems bei den Erkrankungsfällen, jeweils relativ zum Tag der Erstdiagnose (d0).

Es zeigt sich, dass die Sensitivität des Sensorsystems für klinische Hypokalzämien (64 %) und Mastitiden (40 %) höher ist als für Erkrankungen des Bewegungsapparates (9 %). Die hier beschriebenen Mastitiden fielen zunächst primär durch eine Erhöhung der Körperkerntemperatur auf. Es ist zu beobachten, dass bei der Mehrheit aller als richtig-positiv erkannten klinischen Mastitiden die ersten Meldungen des Sensorsystems bereits an den Tagen d-6 bis d-1 ausgegeben wurden. Erkrankten Tiere an einer klinischen Hypokalzämie, dokumentierte das Sensorsystem an den Tagen d-2 und d-1 zunächst Meldungen einer verminderten Bewegungsaktivität und einer verringerten Anzahl an Trinkzyklen. Weitere Meldungen an den Tagen d0 und d+1 gehörten zudem den Kategorien Verminderung und Erhöhung der Körperkerntemperatur an. Bei den Tieren mit Erkrankungen des Bewegungsapparates basierten die Meldungen auf einer Verminderung der Bewegungsaktivität (d-6; Dermatitis digitalis) und einer Erhöhung der Körperkerntemperatur (d-1; Panaritium).

Aufgrund tierindividueller Krankheitsverläufe und unterschiedlicher Symptomausprägungen unterscheiden sich die analysierten Diagnosegruppen hinsichtlich ihrer möglichen Erkennung durch das Sensorsystem anhand einer Veränderung von Bewegungsaktivität oder Körperkerntemperatur. Bei der Erkrankung einer Kuh an einer klinischen Mastitis ist unter anderem der dafür verantwortliche Erreger entscheidend. Beispielsweise geht eine akute Mastitis oftmals mit Fieber einher, was mittels einer kontinuierlichen Erfassung der Körperkerntemperatur durchaus zuverlässig zu erkennen ist. Studien bestätigen damit auch, dass mit einer kontinuierlichen Körpertemperaturerfassung mittels Pansenbolus hohe Sensitivitäten bei der Erkennung von Mastitis erreicht werden können [AOR13; KMC19].

	d-6	d-5	d-4	d-3	d-2	d-1	Diagnose d0	d+1
Mastitiden² (n = 42) <i>Sensitivität¹ = 40 %</i>	X	XX	X	X	XXX	XX	XXXX	XXX
Klinische Hypokalzämie³ (n = 14) <i>Sensitivität¹ = 64 %</i>	Nicht berücksichtigter Zeitraum				X	XXXXX	XX	X
Erkrankungen d. Bewegungsapparates⁴ (n = 23) <i>Sensitivität¹ = 9 %</i>	X					X		

X = jeweils ausschließlich erste Meldung des Sensorsystems bei den Erkrankungsfällen (richtig-positiv) im Zeitraum von 6 Tagen vor (d-6) bis einem Tag nach (d+1) der Erstdiagnose (d0); weitere Meldungen bei den Erkrankungsfällen sind nicht abgebildet bzw. berücksichtigt

¹ Sensitivität [%] = Anzahl richtig-positiver Diagnosen / Anzahl aller Diagnosen x 100 (im jeweiligen Betrachtungszeitraum)

² Erreger: *E.coli*, *KNS*, *Strep. spp.* u. a.

³ Betrachtungszeitraum: d-2 bis d+1

⁴ Dermatitis digitalis (48 % der Fälle), Sohlengeschwür, Panaritium, Limax, Paralyse u. a.

Abb. 1: Tag der ersten Meldung des Sensorsystems bei Erkrankungsfällen für alle drei Diagnosegruppen

Bei der Erkrankung eines Tieres an einer klinischen Hypokalzämie sind eine Verminderung von Bewegungsaktivität und Körpertemperatur typische Symptome [Ve16; Ch17], wie sie auch für Meldungen, die vom Sensorsystem ausgegeben wurden, verantwortlich waren. Dabei basierte – insbesondere bei den Tagen d-2 und d-1 – die Mehrheit aller Meldungen auf einer Verminderung der Bewegungsaktivität. Erkrankungen des Bewegungsapparates weisen oftmals eine lange Pathogenese auf, bevor Kühe lahm und damit Veränderungen des Bewegungsverhaltens erkennbar werden [Re11]. Zudem gibt es Unterschiede in der Schmerzhaftigkeit der Erkrankungen. Klauenhauterkrankungen sind deutlich schmerzhafter und damit häufiger mit Lahmheiten assoziiert als Klauenhornkrankungen [Ha14]. Studien belegen, dass das Bewegungsverhalten allein nicht sensibel genug für ein frühzeitiges Erkennen von Erkrankungen des Bewegungsapparates ist. Hierfür bedarf es das Einbeziehen weiterer Indikatoren wie Milchmenge, Futteraufnahme und Wiederkauverhalten [It10; Va13; Gr19].

Es bleibt anzumerken, dass die Herdenmanager des Milchviehbetriebes aufgrund der Gegebenheiten während des gesamten Versuchszeitraums Zugriff auf die Meldungen des

Sensorsystems hatten und diese bei der Bestandsbetreuung miteinbezogen haben. Daraus resultiert, dass der Tag der Erstdiagnose (d0) von den Sensormeldungen möglicherweise beeinflusst wurde. Es lässt sich vermuten, dass ein Gesundheitsmanagement ohne die gegebenen Sensormeldungen bei manchen Erkrankungsfällen zu einer Erstdiagnose zu einem späteren Zeitpunkt geführt hätte. Insbesondere für Mastitiden, aber auch für Hypokalzämien, würde sich daraus jedoch eine größere Vorteilhaftigkeit hinsichtlich einer Früherkennung dieser Krankheiten ergeben. Dabei ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass das Gesundheitsmanagement und damit das Erkennen von Krankheiten des Betriebes als überdurchschnittlich einzustufen ist.

In die Auswertung wurden lediglich Diagnosen miteinbezogen, die in einer Behandlung resultierten. Erkrankungsfälle ohne klinische Symptome (wie beispielsweise Zellzahlerhöhungen oder subklinische Hypokalzämien) beziehungsweise Erkrankungen, bei denen keine Behandlungen notwendig waren, sind nicht inkludiert. Es wurde damit kein einheitlicher Goldstandard für die Diagnose von Krankheiten verwendet, was jedoch mitunter die Situation eines Praxisbetriebes widerspiegelt. Weiterhin wurden für Sensormeldungen, welche nicht mit einem klinischen Erkrankungsfall in Verbindung gebracht werden konnten, mögliche Ursachen betrachtet. Die ersten Ergebnisse hierzu zeigen, dass bei der Mehrheit aller Meldungen während des Zeitraums, in dem sie ausgegeben wurden, der Temperature-Humidity-Index erhöht war. Dies resultierte vermehrt in einer Erhöhung der Körperkerntemperatur und einer Verminderung der Trinkzyklen der Tiere.

Bei Betrachtung der Ergebnisse fällt auf, dass insbesondere bei Mastitiden oftmals einige Tage zwischen der ersten Meldung des Sensorsystems und der Erstdiagnose liegen. Dies bestätigt, dass es für den Landwirt durchaus eine Herausforderung ist, einerseits Ursachen für die Meldungen des Sensorsystems zu identifizieren und andererseits zum richtigen Zeitpunkt geeignete Maßnahmen in die Wege zu leiten. Die Sensitivität der Erkennung von Erkrankungen kann durch das Einbeziehen weiterer Parameter (u. a. Futteraufnahme, Milchleistung) erhöht werden [Gr19]. Eine ausgewogene Balance zwischen einer hohen Sensitivität und gleichzeitig möglichst hoher Spezifität des Sensorsystems zu finden, ist jedoch nicht trivial [Mo16].

4 Schlussfolgerungen

Sensorsysteme wie ein Pansenbolus können für Landwirte ein nützliches Hilfsmittel für das Gesundheitsmonitoring der Herde sein. Sie geben dem Landwirt Hinweise, auf welche Tiere er ein besonderes Augenmerk richten muss. Tatsache ist jedoch auch, dass Diagnosen letztendlich immer noch vom Landwirt oder Hoftierarzt gestellt werden müssen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein zusätzliches visuelles Monitoring der Gesundheit der Herde durch den Landwirt unumgänglich ist.

Literaturverzeichnis

- [AOR13] Adams, A.E.; Olea-Popelka, F.J.; Roman-Muniz, I.N.: Using temperature-sensing reticular boluses to aid in the detection of production diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96, S. 1549–1555, 2013.
- [Ch17] Chase, C.; Lutz, K.; McKenzie, E.; Tibary, A. (Eds.): *Blackwell's Five-Minute Veterinary Consult: Ruminant*. John Wiley & Sons, S. 398, 2017.
- [Gr19] Grimm, K. et al.: New insights into the association between lameness, behavior, and performance in Simmental cows. *Journal of Dairy Science* 102/3, S. 2453-2468, 2019.
- [Ha14] Hanemann, M.: *Die Auswirkung der Klauengesundheit auf die Milchleistung bayerischer Fleckviehkühe*. Dissertation, LMU München, Tierärztliche Fakultät, 2014.
- [It10] Ito, K. et al.: Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93, S. 3553-3560, 2010.
- [KMC19] Kim, H.; Min, Y.; Choi, B.: Real-time temperature monitoring for the early detection of mastitis in dairy cattle: Methods and case researches. *Computers and Electronics in Agriculture* 162, S. 119-125, 2019.
- [Mo16] Mottram, T.: Animal board invited review: precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal*, S. 1575-1584, 2016.
- [MRH12] Mollenhorst, H.; Rijkaart, L.J.; Hogeveen, H.: Mastitis alert preferences of farmers milking with automatic milking systems. *Journal of Dairy Science* 95, S. 2523-2530, 2012.
- [Ne16] Nechanitzky, K. et al.: Analysis of behavioral changes in dairy cows associated with claw horn lesions. *Journal of Dairy Science* 99, S. 2904-2914, 2016.
- [Re11] Reader, J.D. et al.: Effect of mobility score on milk yield and activity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 94, S. 5045-5052, 2011.
- [Ru13] Rutten, C.J. et al.: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science* 96, S. 1928-1952, 2013.
- [Va13] Van Hertem, T. et al.: Lameness detection based on multivariate continuous sensing of milk yield, rumination, and neck activity. *Journal of Dairy Science* 96, S. 4286-4298, 2013.
- [Ve16] Venjakob, P.L.; Borchardt, S.; Thiele, G.; Heuwieser, W.: Evaluation of ear skin temperature as a cow-side test to predict postpartum calcium status in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99/8, S. 6542-6549, 2016.

Quantifizierung der maximalen Anpassungsgüte von Sensormesswerten

Diana Pietzner¹ und Peter Wagner¹

Abstract: Bei der Ermittlung von Bodenparametern im Labor treten regelmäßig Messfehler auf. Werden Labormessungen durch Sensormessungen ersetzt, so werden diese gewöhnlich anhand von Labormessungen kalibriert. Wie gut kann die Kalibrierung der Sensormessungen maximal sein, wenn die zur Kalibrierung verwendeten Labormessungen mit Messfehlern behaftet sind? Es werden aus bekannten Verteilungen „wahre“ Bodenparameter simuliert. Dann werden diese durch ebenfalls simulierte Laborfehler gemäß der VDLUFA-Dokumentation zur Messunsicherheit verfälscht. Mittels Regression wird untersucht, welche Anpassungsgüte ein Modell erreichen kann, wenn nur die messfehlerbehafteten Werte bekannt sind. Damit wird gezeigt, dass selbst ein perfekter Sensor, der jedoch anhand imperfekter Laborwerte kalibriert wird, keine vollständige Übereinstimmung mit den „wahren“ Bodenparametern liefern kann. Es werden Grenzwerte für die Anpassungsgüte (R^2) angegeben, die nicht überschritten werden können, sofern ein bestimmter Labormessfehler vorliegt.

Keywords: Sensormessung, Anpassungsgüte, Simulation, Labormessfehler

1 Einleitung

Precision farming hat zum Ziel, die Ertragsfähigkeit des Bodens bestmöglich auszunutzen und den Verbrauch an landwirtschaftlichen Produktionsfaktoren in Bezug zu den Erträgen zu optimieren. Damit soll die Wirtschaftlichkeit des Pflanzenbaus erhöht und es sollen negative Umweltbeeinträchtigungen vermieden werden. Das Problem hierbei ist, die Ertragsfähigkeit des Bodens korrekt einzuschätzen. Die Ertragsfähigkeit wird von vielen verschiedenen, räumlich variierenden Faktoren bestimmt und ist deshalb, auch auf engstem Raum, sehr heterogen. Wichtige Faktoren sind z. B. die Bodengehalte an Makronährstoffen, der pH-Wert oder die nutzbare Feldkapazität. Zur Bestimmung dieser Faktoren werden traditionell Bodenproben im Labor analysiert. Der damit verbundene Arbeitsaufwand und die hohen Kosten der Laboranalysen verhindern aber, dass Daten in der notwendigen hohen räumlichen Auflösung gewonnen werden. Um dennoch kostengünstige und hochaufgelöste thematische Bodenkarten zu erstellen, werden in den letzten Jahren zunehmend Bodensensoren verwendet [Vil1]. Bodensensoren liefern allerdings nicht direkt die gewünschten Werte, z. B. Nährstoffgehalte, sondern beispielsweise Spektren, aus denen die Nährstoffgehalte erst abgeleitet werden müssen. Erschwerend kommt hinzu, dass einzelne Sensoren meist keine befriedigenden Ergebnisse liefern. Erst durch mehrere Sensoren und Datafusion sind bessere Ergebnisse zu erwarten.

¹ Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Landwirtschaftliche Betriebslehre, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Straße 4, 06120 Halle (Saale),
diana.pietzner@landw.uni-halle.de, peter.wagner@landw.uni-halle.de

In jüngerer Zeit werden dazu vermehrt Machine-Learning-Verfahren angewandt [CSW18]. Bei diesen Verfahren werden die mit verschiedenen Sensoren auf einem Feld gemessenen Werte meist individuell interpretiert und diese Ergebnisse dann im Training (Lernvorgang) mit im Labor ermittelten Werten, z. B. Nährstoffgehalten, zusammengeführt. Es ist offensichtlich, dass die Ergebnisse dieser Modellierung nicht besser sein können als die Qualität der im Labor bestimmten Werte, die i. d. R. als wahr angesehen werden. Tatsächlich sind die wahren Werte (Nährstoffgehalte) allerdings nur näherungsweise bekannt. Dies ist durch eine erhebliche Messunsicherheit bedingt, die einer Laboranalyse innewohnt.

Obwohl die Prozeduren zur chemischen Analyse von Bodenproben genau festgelegt sind (z. B. VDLUFA Methodenbuch), zeigen vergleichende Untersuchungen zur Qualitätssicherung doch erhebliche Abweichungen bei der Analyse „identischen“ Probematerials. Wolf et al. [WJH96] dokumentieren Ergebnisse eines Labortests in den USA in dem 20-50 Labore (je nach zu bestimmendem Analyt) bezüglich der Messunsicherheit verglichen werden. Für Phosphor, Kalium und Nitrat werden relative Standardabweichungen (RSD) von 25 %, 20 % bzw. 15 % ausgewiesen (S. 1615). Ein Vergleich europäischer Labore von COOLS et. al [Ci04] kommt ebenfalls zu relativen Standardabweichungen von über 25 % bei Phosphor (S. 691). In einem weiteren Vergleich US-amerikanischer Labore weisen Jacobsen et. al [Ja02] RSDs für Phosphor zwischen 15 und 31 %, für Kalium zwischen 13 und 16 % und für Nitrat zwischen 14 und 44 % aus (S. 309ff). Für Deutschland wird die Messunsicherheit durch Ringversuche der VDLUFA erhoben und dokumentiert [Mu07]. Für Phosphor wird beispielsweise eine „erweiterte“ Messunsicherheit von $\pm 28,7\%$ für einen P-Gehalt von 3 mg/100 g Boden angegeben, für einen P-Gehalt von 30 mg/100g beträgt die Messunsicherheit $\pm 13,1\%$ (S. 724).

Dieser Beitrag hat zum Ziel zu erklären, welches Bestimmtheitsmaß (R^2) bei der Modellierung von Nährstoffgehalten basierend auf Sensordaten unter Berücksichtigung der Messunsicherheit bei Laboranalysen erreicht werden kann.

2 Daten und Methoden

2.1 Maschinelles Lernen

Algorithmen des maschinellen Lernens [CSW18] erzeugen aus einem Angebot an Daten (Trainingsdaten) ein nicht-parametrisches Modell, das die vorhandenen Daten beschreibt und auch auf neue, gleichartige Daten (Testdaten) angewendet werden kann. Dabei ist im Idealfall die Modell-Anpassung (R^2 , RMSE) für die Testdaten genauso gut wie für die Trainingsdaten. Es kann jedoch auch vorkommen, dass die Anpassung an die Testdaten schlechter bzw. besser ist als die Anpassung an die Trainingsdaten, man spricht dann von Over-Fitting bzw. Under-Fitting. Um eine Aussage über die Stärke des Over- bzw. Under-Fitting zu machen, ist es insbesondere in Simulationsstudien üblich, die Daten in einen

Trainings- und einen Testdatensatz aufzuteilen, in der Regel eine Aufteilung von 70 % zu 30 %.

Im Folgenden sollen drei Verfahren des maschinellen Lernens betrachtet werden: Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) und ein künstliches neuronales Netz (ANN). Zum Vergleich soll ein lineares Modell dienen, welches auch als Simulationsannahme diene. Zur Umsetzung wurden die R-Pakete randomForest [LW02], e1071 (SVM) [Me19] und neuralnet[FGW19], sowie die Funktion lm aus Base-R verwendet.

2.2 Simulation

Auf einem Schlag des Lehr- und Versuchsgutes in Görzig (Sachsen-Anhalt) wurden 2016 Bodenproben entnommen und Laborwerte unter anderem für den pflanzenverfügbaren Phosphorgehalt in mg/100g (p_{cal}), pH-Wert und den Gesamtphosphorgehalt bestimmt durch Röntgenfluoreszenzmessung in mg/kg Trockensubstanz (p_{rfa}) ermittelt. Die Laborwerte haben folgende Minima und Maxima: p_{cal} : 1,4 | 9,8; p_{rfa} : 362,2 | 733,1; pH: 5,5 | 7,2. Nach Ausschluss fehlender und unplausibler Messungen ergibt sich ein Stichprobenumfang von $n = 190$. Es wurde hier ein Stichprobenumfang von 190 Messpunkten gewählt, um den oben genannten Datensatz nachbilden zu können. In vielen praktischen Anwendungen, so auch bei der Sensorkalibrierung, ist die Anzahl der verfügbaren Datenpunkte beschränkt. Jedoch ist bekannt, dass für größere Stichprobenumfänge eine bessere Anpassung zu erwarten ist. Hier wurde als einfachste Simulationsannahme ein lineares Modell gewählt. In der Praxis sind komplexere Zusammenhänge vorstellbar. Jedoch sollten gerade die Machine-Learning-Modelle in der Lage sein, auch diese Zusammenhänge ohne eine Verschlechterung der Anpassung abzubilden.

Um den Einfluss der relativen Messunsicherheit (RMU) auf die Anpassungsgüte R^2 einer linearen Regression bzw. eines Machine-Learning-Models zu untersuchen, wurden 100 Datensätze simuliert, die dem Originaldatensatz in ihren Verteilungsannahmen nachempfunden sind. Zunächst wurden die Prädiktoren pH-Wert und p_{rfa} unter einer Normalverteilung simuliert, wobei Mittelwert und Standardabweichung aus den Originaldaten abgeleitet wurden. Für diese Prädiktoren wurde kein Labormessfehler eingefügt. Im Anschluss wurde aus diesen beiden Werten ein Wert für p_{cal} ermittelt, dazu diente eine bivariate lineare Regression auf die Parameter der Originaldatei. Im Anschluss wurden auf die simulierten exakten Werte für p_{cal} eine Messunsicherheit addiert und so Labordaten mit Messunsicherheit simuliert. Hierfür wurden nacheinander verschiedene Annahmen zur Größe der RMU getroffen: Festgelegt wurden die RMU an der Stelle des kleinen p_{cal} -Wertes = 3 mg/100g und des großen p_{cal} -Wertes 40 mg/100g. Folgende Werte wurden in der vorliegenden Simulation angenommen: $RMU_{max} / RMU_{min} = 0,1/0,05 \mid 0,2/0,1 \mid 0,29/0,13 \mid 0,4/0,2$.

Die 100 simulierten Datensätze wurden zufällig aufgeteilt in 70 % Trainingsdaten und 30 % Testdaten. Zunächst wurde für die Trainingsdaten je ein lineares Modell und drei Machine-Learning-Modelle (RF, SVM, ANN) angepasst. Anhand der mittels der

Trainingsdaten ermittelten Modellparameter wurde die Anpassung der Modelle an einem bisher unbekanntem Datensatz überprüft. Sowohl für die Trainingsdaten als auch für die Testdaten werden die Gütekriterien (R^2 , RMSE) angegeben.

3 Ergebnisse

Abbildung 1 a und b stellt Boxplots für R^2 bzw. RMSE dar. Die Regressions-/Machine-Learning-Modelle sind in unterschiedlichen Graustufen dargestellt. Untereinander sind verschiedene Annahmen für die Messunsicherheit getroffen.

Wie zu erwarten, wird R^2 im Mittel kleiner, je größer die simulierte Messunsicherheit ist. Darüber hinaus fällt auf, dass im Random-Forest-Modell ein Overfitting stattfindet, das umso größer ist, je größer die Messunsicherheit wird, was auch zu einer schlechteren Anpassung an die Testdaten als im linearen Modell führt. Für Random-Forest-Modelle führt eine geringe Anzahl von Parametern zu schlechten Anpassungen, da im ersten Schritt 1/3 der Parameter zur Konstruktion des Baumes verwendet wird. Die Ergebnisse des linearen Modells unterscheiden sich darüber hinaus kaum von den Ergebnissen der Machine-Learning-Modelle, das ist auch dadurch zu begründen, dass in der Simulation ein linearer Zusammenhang angenommen wird.

Für die Testdaten ergeben sich im linearen Modell für die Messunsicherheiten $RMU_{max} / RMU_{min} = 0,1/0,05 \mid 0,2/0,1 \mid 0,32/0,13 \mid 0,4/0,2$ R^2 -Werte von im Median $0,93 \mid 0,77 \mid 0,57 \mid 0,44$. Für die Modelle SVM und ANN ergeben sich sehr ähnliche Werte, lediglich für das RF-Modell sind die R^2 -Werte noch etwas schlechter. Eine Erhöhung der Anzahl der simulierten Datensätze zeigte in einer weiteren Simulation keine Verbesserung der Werte.

Die RMSE-Werte betragen dagegen im Median $0,34 \mid 0,65 \mid 1,02 \mid 1,35$. Hier ist auffällig, dass die Anpassung des ANN-Modells weniger stark von der Höhe des RMU abhängig ist. Hier beträgt der Median des RMSE auch für den höchsten angenommenen RMU ($0,4/0,2$) lediglich $0,79$.

4 Diskussion

Die vorgestellte Simulation zeigt, dass der Labormessfehler einen wesentlichen Einfluss auf die Modellgüte hat. So wurde in der Simulation ein perfekter linearer Zusammenhang durch das Hinzufügen eines zufälligen Labormessfehlers einer bestimmten Größenordnung verfälscht. Die Simulationsergebnisse im linearen Modell zeigen, dass schon bei einem relativen Labormessfehler von $28,7\% - 13,1\%$, wie er von der VDLUFA beschrieben wird, die Anpassungsgüte R^2 im Median nur noch einen Wert von $0,57$ erreicht. Bei 100 Simulationen wurde maximal ein Wert von $0,78$ für die Anpassungsgüte R^2 beobachtet. Im Vergleich dazu lag die Anpassungsgüte bei den Originaldaten bei $0,68$

und damit um 0,1 über dem Median der Simulation. Dies ist u. a. durch zusätzliches „Rauschen“ der Sensordaten zu erklären, das in der Simulation nicht berücksichtigt wurde. Durch die Simulation wird deutlich, dass aufgrund des vorhandenen Labormessfehlers selbst bei einem perfekten Zusammenhang keine Anpassungsgüte zu erwarten ist, die über 0,78 hinausgeht. Beim Vorliegen weiterer Fehler beispielsweise bei der Probennahme oder Verfahrensfehlern im Labor muss mit einer weiteren Verschlechterung der Anpassungsgüte gerechnet werden.

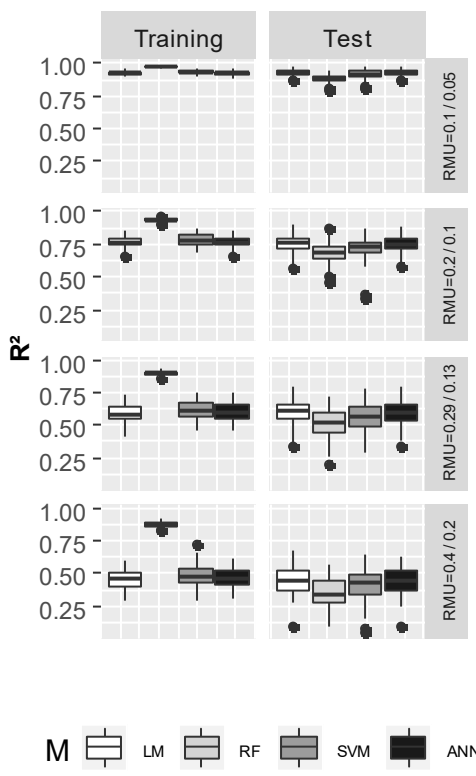


Abb. 1a: R^2 nimmt mit zunehmender Labormessunsicherheit ab

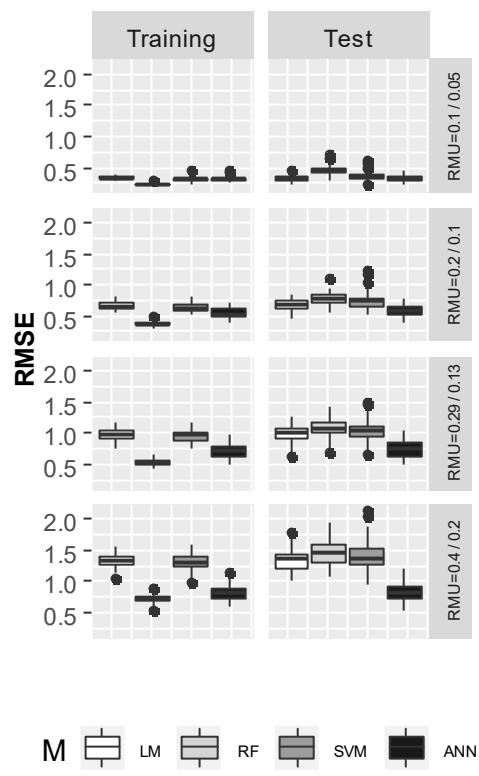


Abb. 2b: RMSE nimmt mit zunehmender Labormessunsicherheit zu

Insbesondere für die Kalibrierung von Sensordaten mittels Laborwerten gilt es darauf zu achten, den Labormessfehler zu kontrollieren und ggf. Methoden zu finden, um ihn zu minimieren, um eine zuverlässige Anpassung zu erreichen.

Des Weiteren legt die vorliegende Simulation den Schluss nahe, dass Publikationen, die eine Anpassungsgüte von nahezu 1 angeben, mit Vorsicht zu betrachten sind. Zwar verkleinert sich aufgrund des Gesetzes der großen Zahlen der Einfluss des Labormessfehlers je größer der verwendete Datensatz ist, jedoch ist beim Einsatz von Labormessungen die Größe des Datensatzes typischerweise begrenzt. Somit ist nicht auszuschließen, dass es sich bei derart perfekten Ergebnissen um Artefakte, Zufallsfunde oder auch unzulässige Selektionen von Teildaten handelt. Es ist jedoch auch nicht möglich, ein allgemein gültiges, maximal erreichbares R^2 anzugeben. Ein solches kann jedoch für andere Zusammenhänge ebenso durch eine Simulation ermittelt werden.

Literaturverzeichnis

- [CSW18] Chlingaryan, A., Sukkarieh, S. and Whelan, B.: Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 151, 61-69, 2018.
- [Co04] Cools, N., Delanote, V., Scheldeman, X., Quataert, P., De Vos, B., and Roskams, P.: Quality assurance and quality control in forest soil analyses: A comparison between European soil laboratories. *Accredit. Qual. Assur.* 9, 688-694, 2004.
- [FGW19] Fritsch, S., Guenther, F. and Wright, M.N.: neuralnet: Training of Neural Networks. R package version 1.44.2, 2019.
- [Ja02] Jacobsen, J. S., Lorbeer, S. H., Schaff, B. E., and Jones, C. A.: Variation in soil fertility test results from selected northern great plains laboratories. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33, 303-319, 2002.
- [LW02] A. Liaw and M. Wiener: Classification and Regression by randomForest. *R News* 2(3), 18-22, 2002.
- [Me19] Meyer, D., Dimitriadou, E., Hornik, K., Weingessel, A. and Leisch, F.: e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071), TU Wien. R package version 1.7-1, 2019.
- [Mu07] Munzert, M., Kießling, G., Übelöhr, W. Nätcher, L. and Neibert, K.-H.: Expanded measurement uncertainty of soil parameters derived from proficiency-testing data. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2007, 170, 722-728, 2007.
- [Vi11] Viscarra Rossel, R.A., Adamchuk, V.I., Sudduth, K.A., McKenzie, N.J. and Lobsey, C.: Proximal Soil Sensing: An Effective Approach for Soil Measurements in Space and Time. In: *Advances in Agronomy*. Vol. 113, 237-282, 2011.
- [WJH96] Wolf, A. M., Jones, J. B., and Hood, T.: Proficiency testing for improving analytical performance in soil testing laboratories: A summary of results from the council's soil and plant analysis proficiency program. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27, 1611-1622, 1996.

Digitales Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation mit Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln

Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation

Jan-Philip Pohl¹, Dieter von Hörsten¹ und Jens Karl Wegener¹

Abstract: Die teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln ist ein Ansatz, mit dem eine Reduktion und Spezifikation und somit eine umweltschonendere und nachhaltigere Agrarproduktion möglich wird. Im Rahmen des BLE-Projektes „Entwicklung und Praxistest eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Teilflächenapplikation von Pflanzenschutzmitteln“ konnte erstmals eine technisch ausgereifte Feldspritze mit Direkteinspeisung genutzt werden, mit der die bislang bekannten Probleme der Direkteinspeisung gelöst wurden. Um mit dieser Technik jedoch eine tatsächliche Teilflächenapplikation unter Praxisbedingungen umzusetzen, bedarf es der zusätzlichen Entwicklung einer Assistenzumgebung, welche eine Vielzahl von satelliten-, sensorgesteuerten und geodatengestützten Informationen über Schnittstellen integrieren kann und mit deren Hilfe Teilflächen innerhalb der gesamten Applikationsfläche für unterschiedliche Applikationsmaßnahmen identifiziert und näher charakterisiert werden können. Zielsetzung ist die Entwicklung eines Assistenzsystems basierend auf der Direkteinspeisung zur orts- und zeitabhängigen teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmitteln.

Keywords: Assistenzsystem, teilflächenspezifische Applikation, Direkteinspeisung

1 Einleitung

Präzisionslandwirtschaft kann mit einer gezielten und hocheffizienten Ausbringung von Produktionsfaktoren (Pflanzenschutzmittel, Dünger etc.) die natürlichen Ressourcen und die Biodiversität auf dem Schlag und in unmittelbarer Umgebung schonen. Im Bereich des Pflanzenschutzes ist dazu die teilflächenspezifische Applikation von Pflanzenschutzmitteln (Precision Spraying) eine notwendige Grundvoraussetzung [Kr15]. Ziel des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist eine deutliche Reduktion zur Behandlung vorgesehener Pflanzenschutzmittel und somit eine situationsgerechte und umweltschonendere Agrarproduktion. Es wird anhand von Feldversuchen systematisch untersucht, ob die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden wirtschaftlich ist.

¹ Julius Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, jan-philip.pohl@julius-kuehn.de; dieter.von-hoersten@julius-kuehn.de; jens-karl.wegener@julius-kuehn.de

Der Anteil an Pflanzenschutzmitteln bzw. Wirkstoffen, der potenziell in die verschiedenen Kompartimente des Naturhaushaltes verfrachtet werden kann, wird im Sinne einer modernen, standortangepassten und ressourceneffizienten Bewirtschaftung reduziert, indem der Wirkstoff positionsgenau auf der Zielfläche, dem Ort des tatsächlichen Bedarfs, appliziert wird. Bisher basiert die Teilflächenbehandlung auf dem Wissen und der Erfahrung des Anwenders/Betriebsleiters sowie auf Bonituren [No06]. Dies wird sich mit dem zunehmenden Einsatz von digitalen Daten aus Sensoren, Satelliten und Drohnen wesentlich vereinfachen [NP16]. Dieses Ziel wird mit verschiedenen Projektpartnern im laufenden Projekt „Assistenzsystem zur teilflächenspezifischen Applikation von Pflanzenschutzmittel“ verfolgt und umgesetzt. Der Beitrag zeigt den aktuellen Entwicklungsstand des Assistenzsystems auf und informiert über Versuchsergebnisse und Lösungen im Projekt. Aufgezeigt werden sollen Verfahrensabläufe und erforderliche Daten, die über eine Schnittstelle zu den bereits in der Praxis vorhandenen elektronischen Ackerschlagkarteien bereitgestellt werden.

2 Material und Methoden

Es wird ein Assistenzsystem entwickelt, das unter Einbindung verschiedenster Informationen aus Webservices die Erstellung von Applikationskarten ermöglicht. Die Dateninputs bestehen zum Beispiel aus langjährigen Ertragsdaten, Unkrautkarten, Satellitendaten aber auch Bestandsaufnahmen per Drohne. Mit Hilfe der daraus erzeugten Applikationskarte kann das Feldspritzgerät vollautomatisch und teilflächenspezifisch applizieren. Dies stellt einen sehr wichtigen Schritt für die Effizienzsteigerung im Pflanzenbau dar. Zusätzlich werden weitere für die Durchführung eines sach- und fachgerechten Pflanzenschutzes wichtige Online-Daten (z. B. lokale Wetterdaten, Maschinenparameter, Schaderregerprognosemodelle, Geländeprofilerkennung, Kleinstrukturen) berücksichtigt. Das Assistenzsystem begleitet den Anwender durch den gesamten Prozess – Planung, Vorbereitung, Applikation und Dokumentation – des Pflanzenschutzes. Viele der dazu notwendigen Informationskomponenten sind heute bereits verfügbar und können zur Steuerung, Regelung sowie Überwachung und Automation herangezogen werden. Im Rahmen des IGreen-Projektes wurde bereits ein Applikationsassistent entwickelt, der prinzipiell in der Lage ist, den Fahrer bei der Einhaltung der in Anwendungsbestimmungen festgelegten Abständen zu Gewässern und Saumstrukturen zu unterstützen. Dieser Ansatz wurde in dem bis April 2016 durchgeführten BLE-Innovationsvorhaben „Pesticide Application Manager“ (PAM – Pflanzenschutzanwendungs-Manager) aufgegriffen und in eine Prozesskette integriert. Der Fokus lag hier auf der Einhaltung von Anwendungsbestimmungen (Technik und Abstand) zum Schutz von Oberflächengewässern und Saumbiotopen [Ra16]. Beim PAM-Projekt standen jedoch nicht der reduzierte Einsatz von PSM sowie die Optimierung der eigentlichen Applikation auf der Anwendungsfläche im Vordergrund. Des Weiteren wurden keine Methoden für die erforderliche Bündelung von On- und Offline-Informationen mit dem Ziel einer standortangepassten und ressourceneffizienten PSM-

Anwendung im Sinne einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf der gesamten Anbaufläche entwickelt. Gerade diese Informationen sind jedoch für eine teilflächenspezifische Applikation von großer Bedeutung [No15]. An dieser Stelle setzt das vorliegende Vorhaben an und vervollständigt die technologischen Möglichkeiten zur Prozessoptimierung und Risikominimierung. Dabei unterstützt das System den Anwender bei seinen Entscheidungen im Sinne einer sach- und fachgerechten Applikation. Ein vollkommen automatisierter Prozess, ohne Eingriffsmöglichkeiten durch den Anwender, ist jedoch nicht das Ziel des Assistenzsystems. Vielmehr sollen alle hierfür benötigten und verfügbaren Daten zusammengeführt und dem Anwender in aufbereiteter Form zur Entscheidungsunterstützung und Empfehlung zur Verfügung gestellt werden. Die Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen kann im Vorfeld in Farm Management (Information)-Systemen (FMIS/FMS) geplant und dokumentiert werden. Der Anwender hat die Möglichkeit, sich durch Prognosetools über die Notwendigkeit von Anwendungen und deren optimalen Zeitpunkt zu informieren. Darüber hinaus muss er die Anwendungsbestimmungen der von ihm genutzten Herbizide kennen, das Unkrautauftreten auf den Zielflächen identifizieren und im Kontext zur Bestandsentwicklung analysieren und interpretieren. Vor und während der Applikation sind zudem die Wetterbedingungen für eine erfolgreiche Behandlung zu beachten. In Abbildung 1 ist die Systemarchitektur hinter dem Assistenzsystem dargestellt.

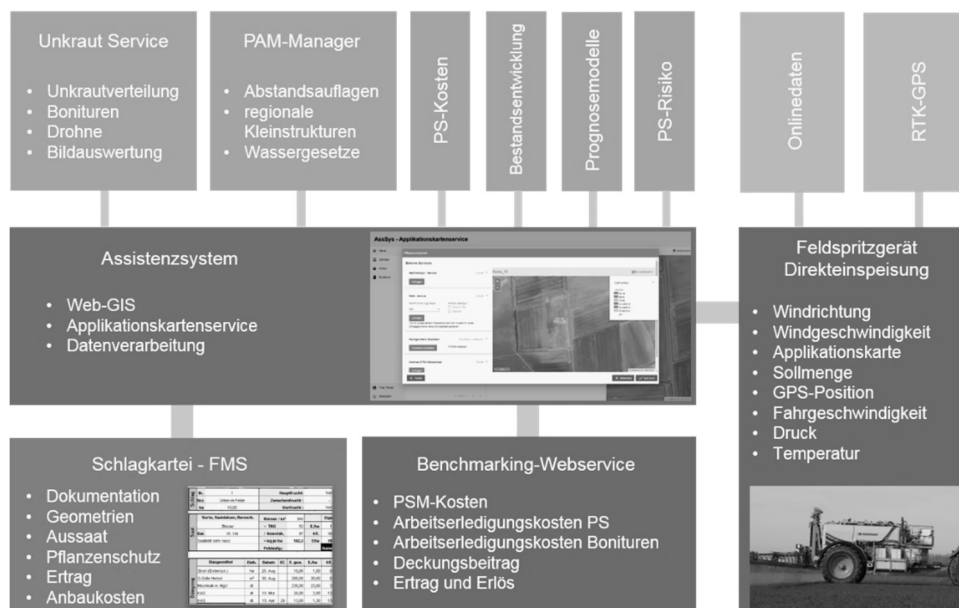


Abb. 1: Systemarchitektur des Assistenzsystems zur teilflächenspezifischen Applikation

Zentrales Element des Gesamtsystems ist ein GIS-gestützter, webbasierter Applikationskartenservice. Mittels offener, standardisierter bzw. dokumentierter Schnittstellen, welche die Formate XML, GeoJSON und GML sowie GeoTIFF für den

Datenaustausch nutzen, werden externe Webservices eingebunden. So wird auf z. T. vorprozessierte satelliten-, sensorgesteuerte und geodatengestützte Informationen und weitere Informationsquellen, wie Prognosemodelle, Webservice für Abstandsauflagen bis hin zum Linked-Open-Data BVL-PSM-Verzeichnis (PAM-Dienst), zugegriffen. Auf Grundlage dieser Daten wird mit dem Applikationskartenservice eine Applikationskarte erstellt und in das Assistenzsystem übertragen.

Die Zusammenführung und Nutzung von unterschiedlichen pflanzenschutzrelevanten Webservices und die Implementierung in bzw. die Erweiterung von bestehenden Farm-Management-Informationssystemen (FMIS) ist eines der wichtigsten Ziele im Projekt.

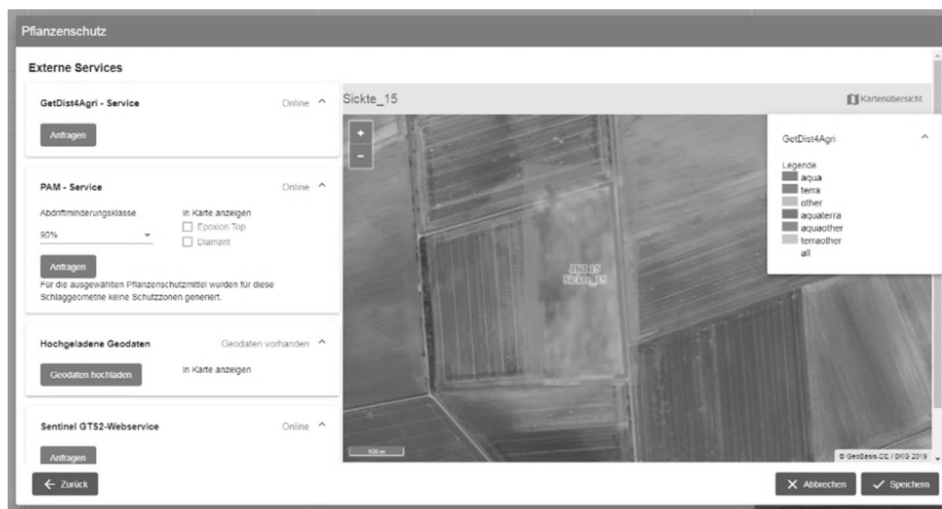


Abb. 2: Assistenzsystem in der Maske der externen Services. Auf der rechten Seite ist die Schlaggeometrie mit Saumstrukturen und dem NDVI aus Satellitendaten zu erkennen

Abbildung 2 zeigt das Assistenzsystem in der aktuellen Betaversion, genauer in der Maske der externen Services. Die Services werden online angesprochen und können über standardisierte Schnittstellen genutzt werden. Der rot markierte Bereich zeigt die Möglichkeit zur Einbindung von Unkrautkarten, die von einem beliebigen Dienstleister eingebunden werden können. In der Kartenübersicht sind die Schlaggeometrie sowie die erkannten Saumstrukturen zu erkennen. Des Weiteren ist ein Satellitenbildlayer (NDVI) über den Schlag gelegt. Die Einbindung von Webservices von Drittanbietern soll weiter ausgebaut werden, um eine möglichst optimale Applikationskarte mit dem Assistenzsystem erzeugen zu können.

3 Ergebnis

In welchem Umfang der Einsatz von Precision Farming (PF) zu einer Reduktion von Pflanzenschutzmitteln (PSM) führt, hängt von vielen Faktoren ab, u.a. von der feldinternen Heterogenität an Unkräutern beziehungsweise Schaderregern, der Fruchtfolge und der Produktionsintensität. Tabelle 1 zeigt Einsparungen bei teilflächenspezifischer und betriebsüblicher Herbizidapplikation.

<i>Kennzahl</i>	<i>TF*</i>	<i>BÜ**</i>	<i>Differenz TF-BÜ</i>
	€ je ha	€ je ha	€ je ha
<i>Herbizidkosten mit Arbeiterledigungskosten</i>	53,07	113,73	60,66
<i>HKfL*** mit Arbeiterledigungskosten</i>	1.132,26	1.039,63	92,63
<i>HBKfL**** (mit Arbeiterledigungskosten)</i>	1.115,12	1.031,69	83,43

*TF: Teilflächenspezifische Behandlung, **BÜ: betriebsübliche Behandlung = schlageinheitlich, ***HKfL: Herbizidkostenfreie Leistung, ****HBKfL: Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung

Tab. 1: Herbizidkosten, Herbizid- und Boniturkostenfreie Leistung bei der teilflächenspezifischen (TF) und betriebsüblichen Behandlung (BÜ) [SR20]

Mit der Entwicklung des geplanten Assistenzsystems wird für die Technologie der Direkteinspeisung die notwendige Infrastruktur bereitgestellt, mit deren Hilfe eine teilflächenspezifische Applikation ohne Restmengen sowie kurze Reinigungszeiten in der Praxis tatsächlich umgesetzt werden kann [Po17]. Dies ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass sich die Technologie der Direkteinspeisung am Markt zukünftig etablieren kann [MK16]. Darüber hinaus ist das Assistenzsystem in der Lage, den Anwender beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im gesamten Prozessverlauf von der Planung der Maßnahme bis zur abschließenden Dokumentation unterstützend zu begleiten. Dies funktioniert auch für konventionelle Spritzgeräte ohne Direkteinspeisung. Dieser Sachverhalt stärkt sowohl den Anwenderschutz als auch den Schutz des Naturhaushalts, da gesetzliche Anforderungen sowie Vorgaben eines sach- und fachgerechten Pflanzenschutzes in Form von Entscheidungsunterstützung oder automatischer Prozessführung umgesetzt werden. Die im Assistenzsystem erzeugten Daten lassen sich vom Anwender in seine FMS/FMIS integrieren und sind somit für das Betriebsmanagement weitgehend nutzbar.

4 Fazit

Die örtlich und zeitlich differenzierte teilflächenspezifische Applikation auf Grundlage der Direkteinspeisung ist technologisches Neuland und kann durch die Einsparung von PSM maßgebliche Vorteile für den Anwender und die Umwelt bringen [Po16]. Zur erfolgreichen Umsetzung dieses Konzepts ist das in diesem Projekt beschriebene Assistenzsystem als zwingend notwendig einzustufen. Bei der Entwicklung des Assistenzsystems zur Applikation von PSM werden alle erforderlichen Offline-Daten über

eine Schnittstelle zu den bereits in der Praxis vorhandenen digitalen Ackerschlagkarteien bereitgestellt werden. Zusätzlich sollen weitere für die Durchführung eines Pflanzenschutzes nach guter fachlicher Praxis bzw. IPS wichtige Online-Daten (z. B. lokale Wetterdaten, Maschinenparameter, Unkrauterkenner, Geländeprofilerkennung) über zusätzliche Schnittstellen direkt während des Applikationsprozess berücksichtigt werden. Teile der dazu notwendigen Informationskomponenten sind heute bereits verfügbar und können zur Steuerung und Regelung sowie Überwachung und Automation des Gesamtprozesses herangezogen werden. Die Entwicklung eines Assistenzsystems, das diese Informationen für die Applikation unterstützend bereitstellt, führt zu einer wesentlichen Optimierung von Herbizidmaßnahmen, da hierdurch die bislang komplexen Entscheidungsprozesse durch intelligente, vernetzte Informationstechnologien erheblich vereinfacht werden.

Literaturverzeichnis

- [Kr15] Krebs, M., Rautmann, D., Nordmeyer, H., Wegener, J.-K.: Entwicklung eines Direkteinspeisungssystems ohne Verzögerungszeiten zur Pflanzenschutzmittelapplikation. *Landtechnik* 70(6), S. 238-253, 2015.
- [No6] Nordmeyer, H.: Reduction program for chemical plant protection – Contribution of the area-specific weed control. *News sheet of the German Plant Protection Service*, 58, S. 317-322, 2006.
- [No15] Nordmeyer, H.: Herbicide Application in Precision Farming based on Soil Organic Matter. *American Journal of Experimental* 8(3), S. 144-151, 2015.
- [NP16] Nordmeyer, H., Pflanz, M.: Aus der Vogelperspektive betrachtet: Drohnen helfen bei der Unkrautbekämpfung. *Der Pflanzenarzt* 69, S. 7-9, 2016.
- [Po16] Pohl, J.P., Rautmann, D., von Hörsten, D., Nordmeyer, H., Krebs, M.: Präzise Unkrautbekämpfung durch Direkteinspeisung. *Der Pflanzenarzt* 69, S. 12-14, 2016.
- [Po17] Pohl, J.P., Rautmann, D., Nordmeyer, H., von Hörsten, D.: Site-specific application of plant protection products in Precision Farming by direct injection. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), S. 255-258, 2017.
- [Ra16] Rajmis, S., Golla, B., Uhl, B., Martini, D., Kehlenbeck, H.: Ökonomische Bewertung eines Entscheidungshilfesystems im Pflanzenschutz am Beispiel von Winterweizen (PAM - Pesticide Application Manager). *Julius-Kühn-Archiv* 454, S. 551-552, 2016.
- [RK20] Rajmis, S., Karpinski, I.: Ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung. Eingereicht zur Publikation im Tagungsband der 29. Deutschen Arbeitsbesprechung zur Unkrautbiologie und -bekämpfung. *Julius-Kühn-Archiv* 464, 2020.

Bestimmung des Betriebsmodus landwirtschaftlicher Maschinen auf Basis von GNSS-Messwerten

Jernej Poteko¹, David Eder² und Patrick Ole Noack²

Abstract: Die Unterscheidung zwischen Straßen- und Feldmodus ist entscheidend für den sicheren, effizienten und bedarfsgerechten Betrieb von Landmaschinen. Der Betriebsmodus setzt die Rahmenbedingungen für die optimale Einstellung verschiedener Parameter u.a. des Reifendrucks. Die Identifikation des Betriebsmodus kann durch die Klassifizierung mittels Entscheidungsbäumen aus den Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungsmesswerten von GNSS-Sensoren abgeleitet werden. Die vorliegenden Untersuchungen zur Erkennung von Straßen- und Feldmodus erreichten bei der Differenzierung der Testdaten eine Genauigkeit von 92 %. Aus dem hohen harmonischen Mittel (95 %) lässt sich die Zuverlässigkeit bei der Bestimmung des Betriebsmodus ableiten. Es ist von großer Bedeutung, dass die Anzahl der Fehlentscheidungen hinsichtlich der Erkennung des Betriebsmodus während der Straßenfahrt minimiert wird, da dort die Verkehrssicherheit eine wichtigere Rolle spielt als bei einer Entscheidung auf dem Feld.

Keywords: Betriebsmodus, Entscheidungsbaum, GNSS-Daten, Automatisierung, landwirtschaftliche Maschinen

1 Einleitung

Die Anforderungen an Landmaschinen sind vielfältig. Sie werden sowohl auf der Straße für den Transport und die Fahrt zum Feld als auch auf dem Feld selbst eingesetzt. Die optimale Einstellung von unterschiedlichen Funktionen der landwirtschaftlichen Maschinen hängt stark vom Betriebsmodus ab. Die Kenntnis der Betriebsmodi „Straßenfahrt“ und „Feldarbeit“ sind entscheidend für den sicheren, effizienten und bedarfsgerechten Betrieb von Landmaschinen und seine Dokumentation in *Farm-Management-Information-Systemen (FMIS)*. Die Unterscheidung zwischen Transportmodus und Feldarbeit stellt eine Grundlage für die Automatisierung und Optimierung von Arbeitsprozessen dar [KGP17].

Die Rolle des Reifendrucks wurde in den letzten Jahrzehnten intensiv untersucht. Ein niedriger Reifendruck während der Feldfahrt wirkt sich durch die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und eine geringere Bodenverdichtung positiv aus. Andererseits verringert ein hoher Reifendruck bei Straßenfahrt den Rollwiderstand und damit den Kraftstoffverbrauch. Er trägt auch zu einem stabilen und damit sicheren Fahrverhalten bei.

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Biomasseinstitut, 91746 Weidenbach, Deutschland,
jernej.poteko@hswt.de

² Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Landwirtschaft, Lebensmittel und Ernährung, 91746
Weidenbach, Deutschland, david.eder@hswt.de; patrick.noack@hswt.de

Mit Reifendruckregelanlagen kann der Druck im Reifen in Abhängigkeit vom Betriebsmodus angepasst werden. Die Anpassung erfolgt dabei in der Regel manuell durch den Fahrer. Eine automatische Anpassung des erforderlichen Reifendrucks wäre von Vorteil, um den Fahrer zu entlasten und Fehlbedienungen durch wenig geschultes Personal zu vermeiden. Dies setzt voraus, dass die Reifendruckregelanlage den Betriebsmodus ermitteln kann.

Die vorliegende Studie untersucht, ob die Identifikation des Betriebsmodus durch Klassifizierung mittels Entscheidungsbäumen aus den Daten von GNSS-Empfängern abgeleitet werden kann. Die naheliegende Verknüpfung bekannter Feldgrenzen und der GNSS-Positionsdaten wurde nicht verfolgt, da die Flexibilität des Systems dann durch die Verfügbarkeit von Feldgrenzen eingeschränkt wird. Der vorgestellte Ansatz nutzt ausschließlich die Messgrößen Geschwindigkeit, Fahrtrichtung sowie aus diesen Größen abgeleitete Werte wie Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit. Eine ähnliche Untersuchung zeigte vielversprechende Ergebnisse zur Klassifizierung von Feld- und Transportprozessen anhand verschiedener aus GNSS-Daten extrahierter Parameter [SM18].

2 Material und Methoden

2.1 Daten

Die GNSS-Daten wurden am 6. April 2017 mit einem Traktor erfasst. Die Route enthält Straßen- und Feldfahrten in der Umgebung der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf in Weidenbach, Deutschland (N 49.20270°, E 10.65233°; EPSG 4326). Somit spiegeln die Daten den Transport auf der Straße und die Ausbringung von Pflanzenschutz- oder Düngemitteln mit einer Arbeitsbreite von 21 m im Feld wider. Die Arbeitsgeschwindigkeit auf dem Feld betrug im Mittel 7,2 km/h. Auf dem Traktor wurde ein Trimble FMX-Display mit Ag25 Antenne (Trimble, California, USA) unter Verwendung von RTK-Korrekturdaten von SAPOS (Hannover, Deutschland) eingesetzt. Zeit, Geschwindigkeit und Richtung wurden mit einer Abtastrate von 5 Hz aufgezeichnet. Mit Hilfe der Positionsmessungen des GNSS-Empfängers und der Feldgrenzen wurde der Betriebsmodus referenziert.

2.2 Datenaufbereitung

Die Geschwindigkeit wurde ohne weitere Bearbeitung in die Analyse einbezogen. Weiterhin wurden aus der Geschwindigkeit, der Zeit und dem Kurs (Fahrtrichtung) zusätzliche Parameter abgeleitet (Tabelle 1) und in Microsoft Excel 2016 berechnet.

Sensor	Messprinzip	Messwert	Eingabewert	Statistische Kennzahl	Zeitraum
GNSS (Global Navigation Satellite System)	Dopplerverschiebung	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Aktueller Wert	jetzt
				Median	1 s 20 s
				SD	1 s 20 s
			Beschleunigung	Aktueller Wert	jetzt
				Median	1 s 20 s
				SD	1 s 20 s
		Fahrtrichtung	Winkelgeschwindigkeit	Aktueller Wert	jetzt
				Median	1 s 20 s
				SD	1 s 20 s
			Winkelbeschleunigung	Aktueller Wert	jetzt
				Median	1 s 20 s
				SD	1 s 20 s
	Winkeldifferenz	Aktueller Wert	jetzt		
		Median	1 s 20 s		
		SD	1 s 20 s		
	Trilateration	Position	Abgleich mit Feldgrenzen als Referenz		
	Direkt	Zeit	Berechnung von Eingabewerten		

Tab. 1: Auf Geschwindigkeit, Zeit und Fahrtrichtung basierende Parameter, die bei der Entwicklung des Entscheidungsbaums verwendet wurden (SD - Standardabweichung)

Die Daten wurden zunächst gefiltert, um Werte außerhalb des erwarteten Bereichs (z. B. Geschwindigkeit über 60 km/h, Beschleunigung über 10 m/s²) auszuschließen. Die Referenz für die Betriebsmodi wurde durch den Vergleich der Position des Traktors mit den Feldgrenzen der untersuchten Felder mit der GIS-Software QGIS [QU19] festgelegt.

2.3 Klassifizierungsalgorithmus

Der *Machine-Learning*-Algorithmus klassifizierte die Daten je nach Regelausdruck in jedem Knoten in die Baumstruktur. Die Klassifikation strebte an, die Trennung der Daten zu maximieren. Der Entscheidungsbaum leitet aus den Eingangsparametern (Tabelle 1) den Betriebsmodus ab. In jedem Knoten wurde der Betriebsmodus (Straßen- oder Feldmodus), die Wahrscheinlichkeit des angegebenen Betriebsmodus und der Anteil der Werte im Knoten berechnet. Die Fehlerrate wird mit dem Stutzen des Baumes anhand des Komplexitätsparameters minimiert, um so das optimale Verhältnis zwischen Baumkomplexität und Genauigkeit zu erreichen. Der Entscheidungsbaum wurde mit dem R-Paket *rpart* erstellt [TAR15]. Die Identifizierung erfolgte mit dem R-Paket *predict*. Zunächst wurde der Trainingsdatensatz bei der Herleitung von Klassen im Entscheidungsbaum und als Testdatensatz bei der Validierung verwendet. Die Beurteilung der Qualität der Ergebnisse erfolgte mittels 10-facher Kreuzvalidierung.

2.4 Beurteilung des Algorithmus

Die Beurteilung eines binären Klassifikators kann durch eine Wahrheitsmatrize erfolgen. Die „positiven“ Klassen bestimmen den Feldmodus und die „negativen“ Klassen den Straßenmodus. Die Begriffe „richtig“ und „falsch“ definieren die korrekten und falschen Ergebnisse aus dem Entscheidungsbaum. In dieser Studie wurden die richtig positiven und richtig negativen Klassen als gewünschte Klassen identifiziert. Im Falle von Fehlklassifikation wurden falsch negative Klassen gegenüber falsch positiven Klassen bevorzugt.

Wahrheitsmatrize		Errechnete Klassen (Betriebsmodus)	
		Feldarbeit	Straßenfahrt
Tatsächliche Klassen	Feldarbeit	Richtig positiv	Falsch negativ
	Straßenfahrt	Falsch positiv	Richtig negativ

Tab. 2: Wahrheitsmatrize zur Beurteilung der Qualität der Klassifizierung

Aus Sicht der Straßenverkehrssicherheit verringert die Identifikation von falsch negativen Klassen das Risiko und reduziert so potenzielle Schäden an Maschinen, Fahrern und anderen Verkehrsteilnehmern. Die Beurteilung anhand von Wahrheitsmatrizen können mit folgenden Eigenschaften gekennzeichnet werden: Genauigkeit (ACC), Präzision (PPV), Sensitivität (TPR), Spezifität (TNR) und *F1-Score* [LE17].

3 Ergebnisse

Der Datensatz enthielt 54711 Positionen. 72 % der Positionen lagen innerhalb der Feldgrenzen. Die entscheidenden Parameter, die im Entscheidungsbaum verwendet wurden, waren der Median der Geschwindigkeit der letzten 20 Sekunden, die momentane Geschwindigkeit, die Standardabweichung der Beschleunigung der letzten 20 Sekunden, die Winkelbeschleunigung der letzten Sekunde, die Winkelgeschwindigkeiten der letzten Sekunde und der letzten 20 Sekunden, die Standardabweichung der Geschwindigkeit der letzten 20 Sekunden (Abb. 1). Im ersten Knoten lag die Wahrscheinlichkeit des Straßen- bzw. Feldmodus bei 28 % bzw. 72 %. Die Komplexitätsparameter von 0.01 wurden beim vierzehnten Knoten festgelegt.

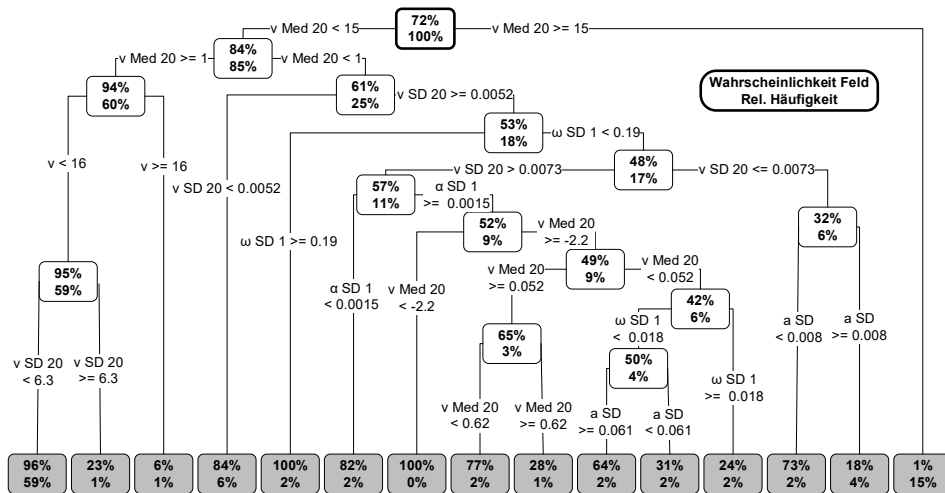


Abb. 1: Entscheidungsbaum für die Klassifizierung von Straßen- (S) und Feldmodus (F) anhand von GNSS-Parametern (v = momentane Geschwindigkeit [km/h], a = Beschleunigung [m/s^2], ω = Winkelgeschwindigkeit [rad/s], α = Winkelbeschleunigung [rad/s^2], Med = Median, SD = Standardabweichung, 1 = Werte der letzten Sekunde, 20 = Werte der letzten 20 Sekunden)

Innerhalb aller Daten (Straßen- und Feldfahrt zusammen) wurden 92 % (ACC) der Klassifikationen korrekt als richtig positiv (Feldfahrtmodus) und richtig negativ (Straßenmodus) identifiziert (Tab. 3). Der Feldmodus wurde während der tatsächlichen Straßenfahrt in nur 3 % der Fälle falsch erkannt (PPV ist 97 %). Während der tatsächlichen Straßenfahrt wurde der Straßenmodus in 91 % Fällen (TNR) auch richtig errechnet. Innerhalb der tatsächlichen Feldfahrt wurde der Feldmodus in 92 % (TPR) richtig erkannt. Entsprechend hoch bei 95 % lag der *FI-Score* als harmonisches Mittel der Präzision und der Sensitivität.

		Errechnete Klassen (Betriebsmodus)	
		Positive	Negative
Tatsächliche Klassen	Positive	37987	3110
	Negative	1252	12362

Tab. 3: Wahrheitsmatrize mit angeordneten Klassen zur Beurteilung der Qualität des Entscheidungsbaums Klassifizierungsalgorithmus anhand von Testdatensätzen

4 Diskussion

Der aus den Trainingsdaten abgeleitete Entscheidungsbaum zeigte überzeugende Ergebnisse bei der Erkennung von Straßenfahrt und Feldarbeit. Er erreichte bei der Differenzierung von Straßen- und Feldmodus anhand der Testdaten eine hohe Güte. Dies

lässt sich durch die Genauigkeit und den *F1-Score* belegen. Beide Maße lagen bei 92 % und 95 % und überstiegen die Genauigkeiten (ca. 83 %) der Unterscheidungen zwischen der Feldarbeit und der Straßenfahrt aus einer vergleichbaren Untersuchung [SM18]. Aus der hohen Spezifität und Sensitivität lässt sich ableiten, dass falsche Vorhersagen von Feldmodus auf der Straße unter 10 % lagen. Es ist von großer Bedeutung, dass die Anzahl der Fehlentscheidungen hinsichtlich der Erkennung des Betriebsmodus während der Straßenfahrt minimiert wird, da dort die Verkehrssicherheit eine wichtige Rolle spielt und die Folgen einer Fehlentscheidung ein größeres Risiko bergen als bei einer Fehlentscheidung auf dem Feld. Die ersten Ergebnisse zeigen das Potenzial der Methode und können als Hinweis für die ausreichende Genauigkeit von Entscheidungsbäumen zur Erkennung des Betriebsmodus von Landmaschinen gewertet werden. Die vorgestellte Methode kann leicht auf andere Anwendungen und Einstellungen übertragen werden, bei denen die Kenntnis des Betriebsmodus relevant ist.

5 Danksagung

Die Studie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen des Förderungsprogramms „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ finanziell unterstützt.

Literaturverzeichnis

- [KGP17] Kortenbruck, D.; Griepentrog, H. W.; Paraforos, D. S.: Machine operation profiles generated from ISO 11783 communication data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140. 227-236, 2017.
- [Le17] Leonard, L. C.: Web-Based Behavioral Modeling for Continuous User Authentication (CUA). *Advances in Computers* 105 S. 1-44, 2017.
- [Qu19] Quantum, G. I. S.: QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Development Team 2014. 2019.
- [SM18] Stein, T.; Meyer, H. J.: Automatic machine and implement identification of an agricultural process using machine learning to optimize farm management information systems. In: *Proceedings of the 6th Int. Conf. on Machine Control and Guidance (MCG)*. Technische Universität Braunschweig, Germany, S. 19-26, 2018.
- [TAR15] Therneau, T.; Atkinson, B.; Ripley, B.: *rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees*. R package version 4.1-11. <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>, Stand: 5.8.2019.

Die Nutzung von Online-Informationen bei der Vermarktung von Getreide

Fallbeispiel Markt-Info-App

Franziska Potts¹ und Jens-Peter Loy¹

Abstract: Bei der Markt-Info-App (MIA) handelt es sich um eine mobile Informations- und Vermarktungswebseite, die Landwirten Informationen und Tools rund um die Vermarktung zur Verfügung stellt. Die Nutzung von MIA durch die Landwirte wird aufgezeichnet und mit weiteren Informationen über die Landwirte zur Betrachtung der Nutzung von Online-Informationen bei der Getreidevermarktung genutzt. Mit einem Negativ-Binomial-Zählmodell wird der Einfluss von sozioökonomischen und betrieblichen Eigenschaften sowie der Nutzung von Informationen bei der Vermarktungsentscheidung auf die Nutzungshäufigkeit und die durchschnittliche Nutzungsdauer analysiert, um Erklärungen für Unterschiede bei der Nutzung ableiten zu können.

Keywords: Informationsplattform, Getreide, Vermarktung, Informationen

1 Einleitung

Über das Vermarktungsverhalten von Landwirten bei Weizen und Raps und die damit einhergehenden Entscheidungen ist bisher wenig bekannt. In wissenschaftlichen Studien wurde gezeigt, dass deutsche Landwirte unterschiedlichen Quellen bei der Suche nach Informationen für die Vermarktung vertrauen [Sc11]. Das Internet wird bei der Vermarktung von Produkten nur in relativ geringem Maße genutzt, wohingegen seine Nutzung für die Informationssuche und den Austausch von Informationen weit verbreitet ist [SSM01; RW04; RW06; SEP03]. Dabei werden neben Preisinformationen auch Marktinformationen, weitere Fachinformationen und Nachrichten zur Entscheidungsfindung genutzt [VT04; SSM01]. Allerdings scheinen die Printmedien immer noch die primäre Informationsquelle zu sein. E-Mails hingegen haben das Fax beim Austausch von Informationen abgelöst [ABL14].

Vor diesem Hintergrund wurde die mobile Informations- und Vermarktungsplattform Markt-Info-App (MIA) entwickelt, die zusammen mit einer Befragung Einblicke in die Vermarktung von Weizen und Raps geben soll. MIA enthält Markt- und Preisinformationen in Form von Nachrichten, bereitgestellt durch Hansa Terminhandel, verlinkte Berichte und Erzeuger- sowie Warenterminmarktpreise. Ergänzt werden die Informationen durch Tools zur Vermarktungserfassung und -planung sowie eine naive

¹ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Agrarökonomie, Abt. Marktlehre, Olshausenstraße 40, 24118 Kiel, Kontakt: franziska.potts@ae.uni-kiel.de; jploy@ae.uni-kiel.de

Preisprognose durch die teilnehmenden Akteure. Die Nutzung der Webseite durch die registrierten User wird dabei mit Hilfe des Analysetools Matomo aufgezeichnet und durch Informationen zum Betrieb und zu persönlichen Eigenschaften des Landwirts aus dem Fragebogen ergänzt. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse zur Nutzung von MIA durch Landwirte vorgestellt. Dafür wird zunächst die Stichprobe deskriptiv beschrieben und anschließend wird die bisherige Nutzung der Markt-Info-App analysiert. Dazu werden mittels Regression Einflussfaktoren auf die Nutzungshäufigkeit und -dauer ermittelt. Basierend auf diesen Ergebnissen werden abschließend Erklärungen für die unterschiedliche Nutzung von Informationen und dem Internet bei der Vermarktung diskutiert.

2 Material und Methoden

Das Projekt wurde über verschiedene Kanäle beworben. Ein großer norddeutscher Beratungsring hat es seinen Beratern und Mitgliedern vorgestellt, es wurde in verschiedenen landwirtschaftlichen Zeitschriften und auf landwirtschaftlichen Messen und Tagungen beworben. Im Zuge dessen haben sich bis heute 108 Nutzer auf der MIA-Webseite registriert, deren Nutzungsverhalten seit Oktober 2018 aufgezeichnet wird. Zusätzlich zur Aufzeichnung des Nutzungsverhaltens gibt es einen Online-Fragebogen, den jeder Nutzer nach seiner Registrierung ausfüllen sollte. Da nicht alle registrierten Nutzer den Fragebogen ausgefüllt haben, reduziert sich die Stichprobe auf 89 Nutzer. Die Stichprobe ist nicht repräsentativ, da norddeutsche Landwirte ebenso wie Landwirte mit einer stärkeren Internet-Affinität in der Stichprobe überrepräsentiert sein dürften. Dies resultiert zum einen aus der Werbung, die überwiegend in Norddeutschland betrieben wurde, und zum anderen aus der web-basierten Form der Datenerhebung. Die Aufzeichnung des Nutzungsverhaltens erfasst neben der Gesamtnutzungsdauer und der Anzahl der Besuche auch die Nutzungsdauer und Aufrufhäufigkeit von Unterseiten. Bei der Befragung wurden sozioökonomische und betriebscharakteristische Daten sowie Informationen zur Vermarktung erfasst. Zudem wurden die Nutzer zu ihrer Risikoeinstellung und ihrem Entscheidungsstil befragt.

Für die Ermittlung von Einflussfaktoren auf die Nutzungshäufigkeit und Nutzungsdauer wird jeweils ein Zähldatenmodell genutzt, da die endogenen Variablen Nutzungshäufigkeit und Nutzungsdauer diskrete, nicht-negative Werte annehmen. So könnte es bei der Verwendung einer OLS-Methode zu einer Verzerrung der Schätzer kommen. Das ursprüngliche Zähldatenmodell beruht auf einer Poisson-Verteilung, bei der die Varianz gleich dem Mittelwert ist. Der Überdispersions-Test zeigt allerdings, dass für den verwendeten Datensatz die Varianz größer als der Mittelwert ist. Daher kommt hier das Negativ-Binomialmodell zur Anwendung, das eine flexiblere Modellierung der Varianz zulässt [CT98]. Als mögliche Einflussfaktoren werden sozioökonomische Eigenschaften des Landwirtes (einschließlich Risikoeinstellung und

Entscheidungsstil), betriebliche Eigenschaften sowie Informationsnutzung und -bezug bei der Vermarktung verwendet.

3 Ergebnisse

Die Landwirte der Stichprobe sind zwischen 22 und 72 Jahre alt, wobei der Durchschnitt bei 43,8 Jahren liegt. 97,8 % der Landwirte verfügen mindestens über einen Realschulabschluss und 66,3 % haben einen Universitäts-/Hochschulabschluss oder eine höhere Qualifikation. Die männlichen Landwirte machen mit 93,3 % den größten Teil der Stichprobe aus. Die Landwirte sind seit durchschnittlich 21,3 Jahren in der Landwirtschaft tätig. Der Großteil der Landwirte (80,9 %) zeigt eine risikoaverse Einstellung, Landwirte mit einer risikosuchenden Einstellung sind am zweithäufigsten vertreten (14,5 %), während eine risikoneutrale Einstellung am wenigsten verbreitet ist (4,5 %). Der Entscheidungsstil der Landwirte ist am stärksten durch rationale Entscheidungen geprägt, während eine Vermeidung von Entscheidungen am schwächsten ausgeprägt ist. Die Betriebe bewirtschaften durchschnittlich 228,8 ha eigenes Land und 389,3 ha gepachtetes Land, wobei der größte Betrieb insgesamt 5000 ha bewirtschaftet. Es werden vor allem Weizen (35,5 %), Raps (16,4 %) und Gerste (16,1 %) angebaut. Der Großteil des Getreides wird aus dem Lager oder über Vorverträge vermarktet, nur gut 15 % werden direkt ab Feld verkauft.

Bei der Vermarktung dienen vor allem das Internet und Fachzeitschriften als Bezugsquellen für Informationen, gefolgt von Experten wie z. B. Beratern. Bei Vermarktungsentscheidungen werden mit einem Anteil von 86,5 % der Befragten vor allem Erzeugerpreise als Informationen berücksichtigt, aber auch Prognosen (69 %), Großhandelspreise (59,6 %), Lagerbestände (57,3 %) und Informationen zur Produktion (56,1 %). Wechselkurse und Informationen zur Politik werden nur von einem geringen Teil der Landwirte in ihre Entscheidungen einbezogen (21,3 % bzw. 15,7 %). Warenterminmärkte werden nur von 19,2 % der Landwirte genutzt, wobei 82,4 % diese zur Absicherung und 41,1 % zur Spekulation nutzen.

Insgesamt haben die Landwirte MIA bisher durchschnittlich 10-mal besucht, wobei das Minimum bei einem Besuch und das Maximum bei 162 Besuchen liegt. Jeder Landwirt hat in Summe zwischen wenigen Sekunden und bis zu 12,5 Stunden auf MIA verbracht, im Durchschnitt liegt die Gesamtnutzungszeit bei 42 Minuten. Die Landwirte nutzen die Nachrichten, die im Nachrichtenticker von MIA angezeigt werden, mit einer Nutzungsdauer von durchschnittlich insgesamt 13,3 Minuten und den meisten Aufrufen mit durchschnittlich 7 Aufrufen pro User am stärksten. Am zweithäufigsten wird die Prognose durch die Landwirte betrachtet sowie genutzt, gefolgt von den verlinkten Berichten von verschiedenen Institutionen sowie den Erzeuger- und Warenterminmarktpreisen. Die Vermarktungstools werden mit durchschnittlich einem Aufruf pro User und einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von unter einer Minute sehr wenig genutzt.

	Nutzungsdauer (in Min)		Nutzungshäufigkeit		SE
	β	SE	β	SE	
Konstante	3,48	2,37	-1,18		0,64
landwirtschaftliche Tätigkeit (in Jahren)	0,04 *	0,02	-0,04 *		0,05
Bildung	0,15	0,16	-0,12		0,67
Alter (in Jahren)	-0,03	0,02	0,02		0,34
Keine Warenterminmarktnutzung (D)	0,01	0,28	0,17		0,70
risikoavers (D)	-0,45	0,5	2,95 ***		0,00
risikosuchend (D)	-0,01	0,64	1,98 **		0,01
rationaler Entscheidungsstil (L)	0,21	0,22	-0,64 *		0,08
intuitiver Entscheidungsstil (L)	-0,33	0,26	0,24		0,41
abhängiger Entscheidungsstil (L)	0,29 *	0,17	-0,64 **		0,02
spontaner Entscheidungsstil (L)	0,03	0,23	0,00		0,99
vermeidender Entscheidungsstil (L)	-0,24	0,2	0,85 ***		0,00
männlich (D)	0,00	0,33	0,62		0,26
Besitzer (D)	-0,14	0,32	-0,96 **		0,03
bewirtschaftete Fläche (in ha)	0,00	0,00	0,00		0,45
Genutzte Informationen					
Erzeugerpreise (D)	-0,51	0,35	0,03		0,93
Großhandelspreise (D)	0,38	0,27	0,00		0,99
Futures-Preise (D)	-0,31	0,29	0,67 **		0,04
Prognosen (D)	0,14	0,27	-0,08		0,83
Getreidequalität (D)	0,17	0,21	0,43		0,15
Produktion (D)	0,35	0,38	0,09		0,81
Lagerbestände (D)	0,37	0,30	-0,34		0,26
Verbrauch (D)	-0,05	0,38	-0,19		0,67
Wechselkurse (D)	-0,07	0,32	-0,57		0,11
Politik (D)	-0,60	0,42	-0,57		0,21
Sonstige (D)	1,02 *	0,60	-0,86		0,48
Informationsbezugsquellen					
Zeitschriften (D)	-0,34	0,33	0,42		0,26
Internet (D)	-0,54	0,45	1,36 **		0,03
Kollegen (D)	0,46 **	0,23	0,47		0,22
Experten (D)	-0,65 **	0,27	0,56 *		0,05
Sonstiges (D)	-0,60	0,43	0,87 *		0,07
alpha	0,70 ***	0,14	0,76 ***		0,00

Tab. 1: Ergebnisse der Zählmodellen (negatives Binomialmodell 2) mit robusten Standardfehlern (D: Dummy-Variablen mit 1=ja, L: Likert-Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) - 5 (stimme voll und ganz zu), Bildung: 1=Haupt-, 2=Realschulabschluss, 3=Abitur/Fachhochschulreife, 4=Universitäts-/Hochschulabschluss, 5=Promotion)

Die Korrelation mit sozioökonomischen und betrieblichen Eigenschaften sowie dem Informationsnutzungsverhalten und der Nutzungshäufigkeit bzw. der durchschnittlichen Nutzungsdauer (in Min) wurde mit dem Negativ-Binomial-Zählmodell analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Nutzungshäufigkeit korreliert positiv mit der Risikoaversion und der Risikofreudigkeit im Vergleich zu Risikoneutralität, einem eher vermeidenden Entscheidungsstil, der Nutzung von Futures-Preisen bei der Vermarktungsentscheidung sowie mit dem Bezug von Informationen über das Internet, Experten oder sonstige Quellen (z. B. Landhandel oder Marktberichte). Ein eher rationaler und ein eher abhängiger Entscheidungsstil und die Nutzung von Wechselkursen als Information für die Vermarktungsentscheidung korrelieren negativ mit der Nutzungshäufigkeit ebenso wie die Position als Betriebsleiter und -eigentümer in Personalunion. Die durchschnittliche Nutzungsdauer ist positiv korreliert mit einem eher abhängigen Entscheidungsstil, dem Bezug von Informationen über Kollegen sowie der Dauer der bisherigen landwirtschaftlichen Tätigkeit. Eine negative Korrelation dagegen liegt beim Bezug von Informationen über Experten vor. Für sozioökonomische und betriebliche Eigenschaften wie Bildung, Alter und bewirtschaftete Fläche konnten keine signifikanten Einflüsse ermittelt werden.

4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass Landwirte verschiedene Informationen wie Preise, aber auch Informationen zur Lagerhaltung und zur Produktion bei ihrer Vermarktungsentscheidung berücksichtigen. Diese Informationen werden aus verschiedenen Quellen bezogen, was sich mit den heterogenen Ergebnissen von Schulze (2011) deckt [Sc11]. Die Nutzung von verschiedenen Informationen wie Preis-, Fach- und Marktinformationen sowie kurzen Nachrichten, wie sie bereits in anderen Studien ermittelt wurde, zeigt sich sowohl in der Befragung der Landwirte bezüglich für die Vermarktung genutzter Informationen als auch in der Nutzung der verschiedenen Unterseiten von MIA [VT04, SSM01]. Die geringe Nutzung der Vermarktungstools deckt sich mit Ergebnissen von Roskopf und Wagner (2004), die zeigen konnten, dass Landwirte das Internet vor allem für die Informationssuche und den Informationsaustausch nutzen, aber nur in sehr geringem Ausmaß für die Vermarktung von Produkten [RW04].

Die Nutzung von Online-Informationen auf der mobilen Webseite MIA korreliert mit den vom Landwirt genutzten Informationsquellen. Landwirte, die generell das Internet für die Suche nach Informationen für ihre Vermarktungsentscheidung verwenden, nutzen auch MIA häufiger, da es sich bei MIA um ein Online-Angebot handelt. Weiterhin zeigt sich auch ein Zusammenhang mit den für den Landwirt relevanten Informationen. Werden Währungskurse bei der Vermarktungsentscheidung berücksichtigt, wird MIA eher weniger häufig genutzt, da über MIA keine Wechselkurse bereitgestellt werden. Bei der Berücksichtigung von Futures-Preisen bei der Vermarktungsentscheidung nimmt die Nutzung dagegen zu, da diese Preise aufbereitet dargestellt werden. Auch eine eher risikoaverse bzw. risikofreudige Einstellung der Landwirte führt zu einer stärkeren

Nutzung von MIA. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sich diese Landwirte mehr mit der Vermarktung befassen, entweder um ein möglichst geringes Risiko dabei einzugehen oder um ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen, und dabei auch nach risikoreichen Alternativen suchen. Für die sozioökonomischen und betrieblichen Eigenschaften wie beispielsweise Alter, Geschlecht und bewirtschaftetes Land konnten keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden, wohingegen in anderen Studien ein negativer Einfluss auf die Nutzung des Internets beobachtet wurde [SEP03]. Allerdings bezieht sich dieses Ergebnis auf die allgemeine Nutzung des Internets für die Informationsbeschaffung, während MIA vermutlich eher von Landwirten genutzt wird, die ohnehin das Internet für die Informationssuche verwenden.

Danksagung

Dieses Projekt wird gefördert durch die H. Wilhelm Schaumann Stiftung. Die Autoren danken der H. Wilhelm Schaumann Stiftung für die finanzielle Unterstützung.

Literaturverzeichnis

- [ABL14] Adämmer, P., Bohl, M.T., Ledebur, E.-O. von: Die Bedeutung von Agrarterminmärkten als Absicherungsinstrument für die deutsche Landwirtschaft. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report Nr. 14, 2014.
- [CT98] Cameron, A.C., Trivedi, P.K.: Regression Analysis of Count Data. Cambridge University Press, New York, 1998.
- [Sc11] Schulze, B.: Dynamic Markets – Dynamic Relationships: The Example of Grain Marketing in Germany. Proceedings in Food System Dynamics, S. 100-109, 2011.
- [RW04] Roskopf, K., Wagner, P.: Der digitale Landwirt: Die Nutzung des Computers im Betriebsmanagement. In (Schiefer, G., Wagner, P., Morgenstern, M., Rickert, U.): Referate der 25. GIL-Jahrestagung, Bonn, 2004. Online: http://lb.landw.uni-halle.de/publikationen/gil_2004_akzeptanz.htm, Stand: 21.08.2019
- [RW06] Roskopf, K., Wagner, P.: Vom Daten- zum Wissensmanagement. Wofür verwenden Landwirte einen Computer? In (Wenkel, K.-O., Wagner, P., Morgenstern, M., Luzi, K., Eisermann, P.): Referate der 26. GIL Jahrestagung, Potsdam, S. 225-229, 2006.
- [SEP03] Stricker, S., Emmel, M., Pape, J.: Situation of agricultural information and communication technology (ICT) in Germany. In (Harnos, Z., Herdon, M., Wiwaczarowski, T.B.): Information technology for a better agri-food sector, environment and rural living, EFITA Konferenz, Debrecen (Ungarn), S. 690-698, 2003.
- [SSM01] Stricker, S., Sundermeier, H. H., Müller, R.A.E.: Landwirte im Internet. Stand der Nutzung und Verwendungsabsichten. In (Kögl, H.): Referate der 22. GIL-Jahrestagung, Rostock, Bonn, S. 138-142, 2001.
- [VT04] Vennemann, H., Theuvsen, L.: Landwirte im Internet. Erwartungen und Nutzungsverhalten. In (Schiefer, G., Wagner, P., Morgenstern, M., Rickert, U.): Integration und Datensicherheit – Anforderungen, Konflikte und Perspektiven: Referate der 25. GIL Jahrestagung, Bonn, 2004, S. 241-244.

Innovative digitale Formen der Direktvermarktung am Beispiel Marktschwärmer¹ – Potenziale und Risiken

Guido Recke², Martin Janßen² und Antonia Albers²

Abstract: Im Rahmen der Digitalisierung entstehen in der landwirtschaftlichen Direktvermarktung nicht nur neue Herausforderungen, sondern auch neue Chancen. Ein zusätzlicher Produktabsatz über eine Online-Plattform kann sowohl den Verkauf von Produkten als auch den Umsatz steigern. Eine repräsentative Cluster-Analyse (n=1041) zeigt eine positive Bereitschaft der in Deutschland befindlichen Käuferzielgruppen bezogen auf innovative Direktvermarktungsformen am Beispiel der Marktschwärmer. Basierend auf der Kaufbereitschaft der Käuferzielgruppen ist das Marktpotenzial vielversprechend und noch nicht ausgeschöpft. Eine Risikoanalyse für eine Marktschwärmerie zeigt gute Umsatzchancen mit vergleichsweise geringen Risiken in der Stadt Osnabrück.

Keywords: Innovative Direktvermarktungsformen, landwirtschaftliche Direktvermarktung, Digitalisierung, Marktschwärmer, Kernzielgruppen, Marktpotenzial, Risikoanalyse

1 Problemstellung

Bislang übliche traditionelle Direktvermarktungsformen zeigen Grenzen im Bereich Verteilungslogistik, interne Vernetzung [Bu13], aber auch in Bezug auf Produktkommunikation und Konsumentenansprache [Ha10]. Auch der Vertrieb über das Internet kann sich insbesondere bei Lebensmitteln trotz sich immer weiter entwickelnder Digitalisierung nicht wie vielfach erwartet durchsetzen. An dieser Schnittstelle setzen neuere digitale Vermarktungsformen wie z. B. Marktschwärmer an, die Einkaufserlebnisse mit der Nutzung einer Internetplattform per Onlinebestellung verbinden. Es fehlen allerdings Potenzialanalysen, die eine Einschätzung liefern, welche Umsätze mit dem Konzept Marktschwärmer in Städten zu erwarten sind. Wenn diese Ergebnisse vorliegen, könnte die Unsicherheit, ob eine Marktschwärmerie lohnend eingerichtet werden kann, mit größerer Sicherheit beantwortet werden.

2 Ausgangssituation

Viele Landwirte sehen innovative Absatzwege bei der Vermarktung ihrer Produkte als zukunftssträchtig an, um moderner zu sein und für den Verbraucher vielfältige

¹ <https://marktschwaermer.de/>

² Hochschule Osnabrück, Fachgebiet Landwirtschaftliche Betriebswirtschaftslehre, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, g.recke@hs-osnabrueck.de, martin.janssen@hs-osnabrueck.de, antonia.albers@hs-osnabrueck.de.

Einkaufsmöglichkeiten zu bieten. Die digitale Vermarktung bietet hier eine Vielfalt an Optionen durch die Präsentation der Lebensmittel. Eine eigene Website kann ein Landwirt nutzen, um eigene Produkte anzubieten oder zu vermarkten. Online-Plattformen dienen als Vermittler zwischen Käufer und Händler und bieten Landwirten die Möglichkeit der Vermarktung ihrer Produkte [Ic16]. Online-Shops mit Lieferung sind eine gute Alternative, um die Kunden innovativ, aber auch bequem mit regionalen Produkten von Direktvermarktern zu beliefern.

Viele Direktvermarkter verfügen inzwischen über eine Website, um den Kunden über die Produkte zu informieren. Ein Online-Shop mit einem breiten Warensortiment und passender Bestellabwicklung und Zahlungsmöglichkeiten ist seltener zu finden. Auch der Versand über einen Paketdienst wird kaum genutzt. Dies liegt an dem großen Aufwand und den damit verbundenen Kosten für die Entwicklung eines Online-Shops. Außerdem besitzt der Direktvermarkter ein deutlich kleineres Produktangebot als der LEH. [Br18] Neben Anforderungen an die Produktion, Weiterverarbeitung und Lieferung der Produkte wird von den Direktvermarktern eine hohe Qualität, Regionalität und auch Nachhaltigkeit der Produktion gefordert, um sich von dem klassischen LEH abzuheben [Ic16]. Zudem darf der persönliche Kontakt mit dem Kunden über die digitalen Websites nicht zu kurz kommen, denn dieser fördert eine langfristige Kundenbindung [Ic16]. Außerdem wird von Beratern empfohlen, dass sich Direktvermarkter rechtlich beraten lassen sollten. Aufgrund dieser Herausforderungen nutzen einige Direktvermarkter reduzierte Online-Bestellmöglichkeiten oder entwickeln gemeinsam mit anderen Landwirten einen Online-Shop [Br18]. Dieser Verbund von Direktvermarktern bietet die Möglichkeit, ein breites Produktsortiment anzubieten und einen professionellen Auftritt mit einfacher Handhabung zu entwickeln.

Das Modell der Marktschwärmerei vereint Innovation mit Tradition. Der Kunde bestellt und bezahlt Produkte verschiedener regionaler Direktvermarkter über einen Online-Shop. Ein freiwilliger Gastgeber organisiert den wöchentlichen Bauernmarkt und stellt Räumlichkeiten zur Verfügung. Dort holt der Kunde seine zuvor bestellten Produkte direkt beim jeweiligen Landwirt ab. Sowohl der Gastgeber als auch das Unternehmen Marktschwärmerei erhalten einen Provisionsanteil. Ziel ist es, die jeweilige Region zu unterstützen und eine wirtschaftliche Gerechtigkeit für Erzeuger und Verbraucher zu schaffen [Ma19].

Generell wird deutlich, dass für die Direktvermarkter der Online-Handel und andere innovative Direktvermarktungsformen, wie das Modell Marktschwärmer, interessante Vermarktungswege bieten. Dabei ergeben sich sowohl Vorteile als auch neue Herausforderungen, die zu bewältigen sind.

3 Methodischer Ansatz

Auf der Grundlage von Interviews mit Experten, einer bundesweiten repräsentativen Konsumentenbefragung von über 1041 Verbrauchern im Jahr 2017 und durch Erhebungen

bei an *Marktschwärmern* teilnehmenden Landwirten bzw. Erzeugern liegen wichtige Informationen für wirtschaftliche Potenzialanalysen zu Direktvermarktungen über diese Internetplattform vor. Das Marktpotenzial wird auf Basis positiv gestimmter Käufer gegenüber innovativen Direktvermarktungsformen (z. B. Marktschwärmer) aus [Re19] am Beispiel der Stadt Osnabrück errechnet. Hierfür wird der prozentuale Anteil positiv gestimmter Käufer auf Grundlage der Einwohnerzahl und der Kaufkraft sowie der Gesamtumsatz verkaufter Onlinelebensmittel im Einzelhandel in Osnabrück 2018 errechnet. Anschließend wird auf der Grundlage dieser Zahlen für Marktschwärmer mit einer Dreiecksverteilung (33.841, 67.682, 556.975) für die zu erwartenden Umsätze eine Risikoanalyse mit 5000 Iterationen zu dem Umsatzpotenzial der Vermarktungsform Marktschwärmer mit *@-Risk* durchgeführt, um Unsicherheiten und mögliche Umsatzchancen mit einer kumulativen Verteilungsfunktion zu veranschaulichen.

4 Ergebnisse und Diskussion

Anhand einer Literaturrecherche und Expertenbefragungen zeigen sich Potenziale für die Direktvermarktung über *Marktschwärmer*. Positiv beurteilt werden von den Direktvermarktern geringe Investitionskosten und ein damit einhergehendes geringes Investitionsrisiko. Ebenfalls vergleichsweise mit geringen Risiken verbunden ist der Logistik- und Transportaufwand sowie der Personaleinsatz. Als nachteilig können das eher niedrige Verkaufsvolumen, fehlende Laufkundschaft und fehlende Flexibilität in der lokalen Organisation der Marktschwärmer genannt werden [Re19]. Anhand der Verbraucherbefragung von Wortmann [Re19] in Verbindung mit den Umsatzzahlen zu Lebensmittelausgaben aus dem Jahr 2017 können im Folgenden erste Abschätzungen für Potenziale der Vermarktung über *Marktschwärmer* ermittelt werden. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Kaufbereitschaft der Kernzielgruppen verändert nach [Re19].

Bezeichnung	Einwohner	Anteil (in %)	durchschn. wöchentliche Lebensmittel- ausgaben
Einwohner Stadt Osnabrück [De17]	164.374		
1. Cluster: Konservative Direktvermarktungs-Käufer	47.668	29%	106,00 €
davon positive ggü. Marktschwärmer	6.674	14%	106,00 €
2. Cluster: Karriereorientierte Discountkäufer	37.806	23%	97,00 €
davon positive ggü. Marktschwärmer	1.890	5%	97,00 €
3. Cluster: Soziale Regionalverkäufer	44.381	27%	120,00 €
davon positive ggü. Marktschwärmer	17.309	39%	120,00 €

4. Cluster: Umweltbewusste Skeptiker	34.519	21%	96,00 €
davon positive ggü. Marktschwärmer	8.284	24%	96,00 €

Tab. 1: Kaufbereitschaft von Kernzielgruppen für die Stadt Osnabrück verändert nach [Re19]

In der Tabelle 1 ergeben sich wie schon in [Re19] beschrieben 4 Cluster. Wobei die sozialen Regionalkäufer und die umweltbewussten Skeptiker tendenziell am ehesten bei Marktschwärmer einkaufen würden. Wenn man die Anteile an Personen, die eine positive Einstellung gegenüber Marktschwärmer haben, zusammenzählt, ergeben sich für Osnabrück mit 164.374 Einwohnern insgesamt 34.157 Personen mit einer positiven Einstellung. Laut [Ha19] wurden im deutschen Einzelhandel in 2018 rund 182 Mrd. Euro mit Lebensmitteln erzielt. Lediglich 1,2 % vom Gesamtumsatz entfallen auf den Onlinehandel. Die Tabelle 2 zeigt, dass in Osnabrück rechnerisch etwa 4,3 Mio. Euro Umsatz für Onlineverkäufe im Lebensmittelbereich entfallen, sofern eine deutschlandweite gleichmäßige Kaufkraft pro Kopf unterstellt wird.

Bezeichnung	Umsatz (in €)
Umsatzvolumen (Lebensmittel) im gesamtdeutschen Einzelhandel (netto)	182.000 Mio. €
Davon bestellte Lebensmittel offline	179.816 Mio. €
Davon bestellte Lebensmittel (1,2 %) online	2.184 Mio. €
Je Einwohner in Deutschland (82,79 Mio., 2017) offline	2,17 €
Je Einwohner in Deutschland (82,79 Mio., 2017) online	26 €
Direktvermarkter in Deutschland 2017 (Wochenmarkt u. Hofladen) [He18]	2.700 Mio. €
Einzelhandel in Osnabrück 2018 offline	357 Mio. €
Osnabrück im Einzelhandel 2018 online	4,3 Mio. €
Direktvermarkter in Osnabrück 2018 offline	5,3 Mio. €

Tab. 2: Marktpotenzial digitaler Direktvermarktungsformen (Lebensmittel inkl. Getränke und Tabakwaren) am Beispiel der Stadt Osnabrück basieren auf Umsatzzahlen von [Ha19]

In einem weiteren Schritt wurden Risikoanalysen [HM12] zu den ersten Einstellungsuntersuchungen durchgeführt, um eine bessere Einschätzung zu den möglichen Schwankungen in den Umsätzen zu erhalten. Dazu wurden ausgehend von den Einwohnerzahlen und errechneten Lebensmittelumsätzen in Osnabrück (über 361 Mio.

Euro) die Onlineumsätze für Lebensmittel (über 2,18 Mio. Euro) und Direktvermarktungsumsätze (über 5,36 Mio. Euro) ermittelt. Aus den Berechnungen ergeben sich im Minimum Marktschwärmerumsätze von 34.657 Euro und maximal 552.982 Euro und ein Risikoprofil, wie in Abbildung 1 zu sehen ist.

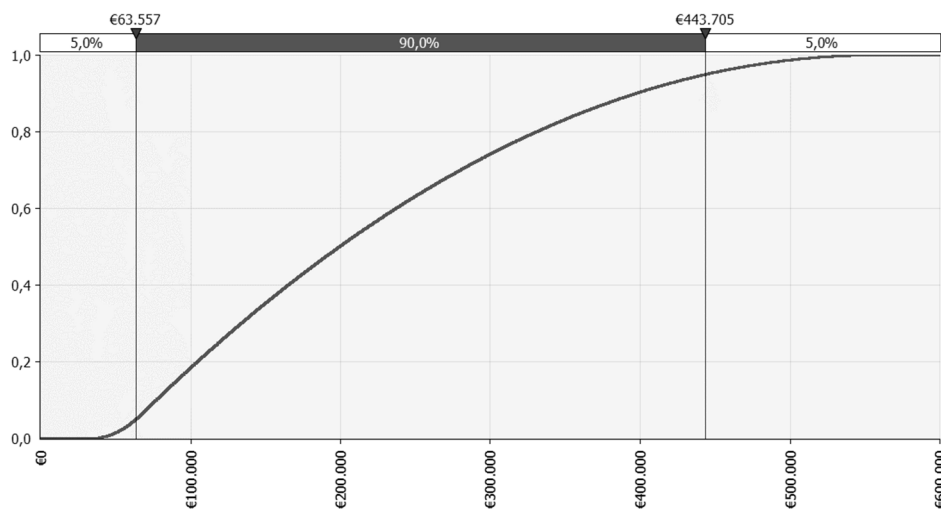


Abb. 1: Umsatzpotenzialanalyse Marktschwärmer für Osnabrück

5 Fazit und Ausblick

Die landwirtschaftliche Direktvermarktung kann insgesamt von der Digitalisierung und den damit verbundenen innovativen Direktvermarktungskonzepten profitieren. Die Berechnungen und Annahmen des Marktpotenzials verdeutlichen, dass bedeutende Marktpotenziale für neue digitale Direktvermarktungsformen wie z. B. Marktschwärmer bestehen. Darüber hinaus weist die Risikoanalyse am Beispiel der Marktschwärmer auf geringe Risiken mit vergleichsweise großen Umsatzpotenzialen für eine Stadt wie Osnabrück hin. Ausgehend von diesem Ansatz sind ebenfalls hohe Potenziale für andere Städte zu erwarten, welche mit einer Risiko- und Marktpotenzialanalyse errechnet werden können.

Literaturverzeichnis

- [Br18] Brüggemann, C.: Direktvermarktung per Online-Shop? top agrar 5/2018, 116-117, 2018.
- [Bu13] Burandt, A.; Lang, F.; Schrader, R.; Thiem, A.: Working in Regional Agrofood Networks – Strengthening Rural Development through Cooperation. Eastern European Countryside 19, 153-176, 2013.
- [De17] Destatis (2010): Statistisches Bundesamt – Daten aus dem Gemeindeverzeichnis Städte in Deutschland nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Aktuell/05Staedte.xlsx?__blob=publicationFile
- [Ha10] Hasan, Y. (2010): Kundenzufriedenheit bei der Direktvermarktung landwirtschaftlicher Produkte in Deutschland. Dissertationsschrift. <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/HERHUOQNKB7Q2BTKHGBFWISECADJ62YK/full/1.pdf>
- [Ha19] Handelsverband Deutschland (HDE) (2019): Online Monitor 2019. https://einzelhandel.de/index.php?option=com_attachments&task=download&id=10168
- [He18] Heinrich, P. (2018): Umsatz in der Direktvermarktung von Lebensmitteln in Deutschland von 2012 bis 2017, statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/818197/umfrage/umsatz-in-der-direktvermarktung-von-lebensmitteln-in-deutschland/>
- [HM12] Hirschauer, N.; Mußhoff, O.: Risikomanagement in der Landwirtschaft. Agrimedia GmbH & Co. KG, Deutschland, 2012.
- [Ic16] Icke, M.; Närmann, P.; Gebhard, F. et al.: Digital basierte Vermarktungs- und Geschäftskonzepte für die Agrar- und Ernährungswirtschaft. Soest, 2016.
- [Ma19] MARKTSCHWÄRMER (2019): Bauer to the people. <https://wirsind.marktschwaermer.de/wp-content/uploads/sites/7/2019/07/Marktschwa%CC%88rmer-Zahlen-Fakten-Juli.pdf>.
- [Re19] Recke, G.; Wortmann, L; Enneking, U.; und Wende, V.: Direktvermarktung über eine Marktschwärmerei – Ergebnisse aus Experten- und Verbraucherbefragungen: In A. Meyer-Aurich et al.: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? Digitale Marktplätze und Plattformen, Lecture Notes in Informatics (GI Lecture Notes) 287, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 167-170, 2019.

Das Projekt „Innovative Direktvermarktungswege für Niedersachsen (IDOOL)“ wurde durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Niedersachsen Programmgebiet Stärker entwickelte Region (SER); Förderperiode 2014 – 2020 gefördert.

Wahrnehmung der Digitalisierung in der Landwirtschaft durch Betriebsleiter von Betriebsgemeinschaften in der Schweiz

Linda Reissig¹

Abstract: Die Digitalisierung in der Landwirtschaft ändert die landwirtschaftliche Praxis kontinuierlich. Seit den 1990er Jahren wird der Begriff „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ verwendet. Aktuell werden ganz unterschiedliche Begrifflichkeiten darunter verstanden, u. a. „Smart farming“ und „Precision Farming“. Wie Landwirte und Landwirtinnen diese Begriffe wahrnehmen, ist ungeklärt und Inhalt unserer Untersuchung. Die Ergebnisse dieser explorativen „mixed-methods“ Fallstudie zeigen, dass der Begriff „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ von den Landwirten und Landwirtinnen sehr breit verstanden wird. Die Landwirte und Landwirtinnen nehmen unter diesem Begriff digitale Technologien und Software allgemein (z. B. Handy, WhatsApp) wahr und landwirtschaftsspezifische digitale Technologien (z. B. Melkroboter) und Software (z. B. Kantonale Datenerhebungsprogramme) in der Landwirtschaft. Die Ergebnisse dieser Studie liefern einen wertvollen Beitrag zur Wahrnehmung der Digitalisierung in der Landwirtschaft durch die Landwirte und Landwirtinnen. Sie unterscheidet sich von dem Verständnis der Forschung und Entwicklung von digitalen Technologien in der Landwirtschaft.

Keywords: Digitalisierung in der Landwirtschaft, digitale Technologien, Wahrnehmung, Einstellung, Begrifflichkeiten

1 Einleitung

Neue technische Innovationen in der Landwirtschaft verändern die landwirtschaftliche Praxis. Parallel oder verzögert zur allgemeinen Digitalisierung in Gesellschaften [BLM10] entwickelt sich die Digitalisierung in der Landwirtschaft. Seit den 1990er Jahren werden die Begriffe „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ [SBH10] oder „Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft“ sowie „Digitale Landwirtschaft“ verwendet. Ganz unterschiedliche Begrifflichkeiten werden aktuell unter diesem Begriff zusammengefasst. In einigen Kontexten werden „Landwirtschaft 4.0“ sowie „Precision Farming“ und „Smart Farming“ verwendet. Es besteht eine neue Dimension der Landwirtschaft, wie man in [VMP19] lesen kann: „Der Übergang der Landwirtschaft zur

¹ Agroscope Wettbewerbsfähigkeit und Systembewertung, Forschungsgruppe Sozioökonomie, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz, linda.reissig@agroscope.admin.ch

digitalen Landwirtschaft“. Konsens über eine einheitliche Begrifflichkeit herrscht bisher nicht. Warum ist das wichtig? Einerseits findet der wissenschaftliche Diskurs über die Digitalisierung in der Landwirtschaft statt, zusätzlich zum Diskurs der Öffentlichkeit und zur Wahrnehmung der Landwirte und Landwirtinnen. In der Forschungsliteratur ist dazu wenig bekannt und dies ist Gegenstand dieser Untersuchung.

2 Material und Methoden

Die Wahrnehmung der Landwirte für den Begriff „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ wurde explorativ mit verschiedenen Methoden analysiert. Neben einer Literaturrecherche zum Verständnis der Bedeutung von „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ wurde ein Fragebogen mit offenen, halboffenen und geschlossenen Fragen entwickelt zur Wahrnehmung der Digitalisierung. Im Januar und Februar 2019 wurde der Fragebogen an alle (788) Betriebsleiter von Betriebsgemeinschaften in der Deutschschweiz versandt. Gemeinschaften wurden ausgewählt, weil in der Schweiz hauptsächlich kleine Familienbetriebe existieren, mit eher suboptimalen Bedingungen für kostenintensive digitale Technologien, und es Belege dafür gibt, dass landwirtschaftliche Genossenschaften für die digitalen Technologien in der Landwirtschaft besser geeignet sind [Re09]. Ein zweiter Teil der verwendeten Daten stammt aus einer Gruppendiskussion zwischen den Landwirten der landwirtschaftlichen Genossenschaften mit der Methode „World Café“ [Br10], die im März 2019 durchgeführt wurde. Dabei wurden die Landwirte und Landwirtinnen zur Wahrnehmung des Begriffs „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ befragt und welche Themen sie damit verbinden. Die qualitativen Daten wurden nach der Methode der Qualitätsinhaltsanalyse analysiert [Ma15]. Die Software MAXQDA Version 2018 zur Analyse qualitativer Daten wurde angewendet.

3 Ergebnisse mit Diskussion

3.1 Beschreibung der Stichprobe

Die Rücklaufquote für den Fragebogen war eher gering, 34, rund 4 %. Das Gleiche galt für das „World Café“, bei dem 24 Bauern von 788 Bauern anwesend waren. Die Fragen wurden von 34 Betriebsleitern von Schweizer Betriebskooperationen² mit einem Durchschnittsalter von 42 Jahren und einer Altersspanne von 26 bis 61 Jahren beantwortet. Die Betriebe sind zu 56 % im Talgebiet, zu 12 % in der Hügelregion und zu 18 % in Bergregion, von weiteren 14 % haben wir keine Angaben. Über die 24 Teilnehmer des diesjäh-

² Die Betriebsgemeinschaft ist ein Zusammenschluss von zwei oder mehr Betrieben zu einer neuen organisatorischen Einheit unter gemeinschaftlicher Führung der beteiligten Gesellschafter. Dabei übertragen die Gesellschafter ihr Vieh und ihre Fahrhabe der Gemeinschaft zu Gesamteigentum, während sie ihre Grundstücke und Ökonomiegebäude sowie allfällige Produktionsrechte der Gesellschaft nur zur Nutzung überlassen.

rigen Treffens zur Digitalisierung in der Landwirtschaft, organisiert von Agridea und Agroscope, ist nur bekannt, dass es sich um Betriebsleiter oder Betriebsleiterinnen einer schweizerischen Betriebsgemeinschaft handelt.

3.2 Ergebnisse der Befragung

Diese Untersuchung hebt die unterschiedlichen Wahrnehmungen der Landwirte und Landwirtinnen zur „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ hervor. Diese haben wir allgemein befragt, was sie mit der Digitalisierung in der Landwirtschaft verbinden. Die Themen, die Betriebsleiter oder Betriebsleiterinnen der Betriebsgemeinschaften mit „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ verbinden, wurden in zwei Hauptkategorien eingeteilt. Einerseits wurden beispielhafte Technologien und Software von Landwirten assoziiert, andererseits wurden positive, neutrale oder negative Merkmale oder Auswirkungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft genannt, siehe Tabelle 1.

Hauptkategorien	Unterkategorien	Häufigkeit
Technologie/Software	Definitionsunklarheit	1
	Digitale Technik (Tier/Pflanze)	16
	Software	11
Positive und neutrale Assoziationen	Fortschritt	4
	Vereinfachung	5
	Vernetzung	1
	Digitale Aufzeichnungen/ E-Government	7
	Digitalisierung als gesamtgesellschaftlicher Prozess	1
Negative Assoziationen	Lebenslanges Lernen und Eigeninitiative	1
	Kontrolle/Nachverfolgbarkeit/Verknüpfung	8
	Investitionskosten	2
	Schlechte Umsetzung / Fehleranfälligkeit	2
	Netzinfrastuktur	2
	Höherer Zeitaufwand	5
	Kompliziert	2
	mehr Stress / Überforderung	2
	Datensicherheit	1
	Abneigung	3
	Risiken	1

Tab. 1: Kategorien der Antwort von „Woran denken Sie, wenn Sie ‚Digitalisierung in der Landwirtschaft‘ hören?“

Bezüglich der Assoziationen, die Landwirte und Landwirtinnen mit der „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ machen, wird deutlich, sie denken häufig an eine einzelne digitale Technologie in der Landwirtschaft. Die Kategorie „Technologie / Software“ ist am häufigsten vertreten. Neben diesen Technologien werden auch andere Themen von den Landwirten und Landwirtinnen assoziiert. Sie können in „positive und neutrale Assoziationen“ und „negative Assoziationen“ unterteilt werden. Wobei auffällig ist, dass die negativen deutlich überwiegen. Nach dieser allgemeineren Auffassung von „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ wollen wir an die Einführung und Wahrnehmung des Begriffs der Landwirte anknüpfen. Welche Technologien Teil der Wahrnehmung der Digitalisierung in der Landwirtschaft durch Landwirte und Landwirtinnen sind, ist in Tabelle 2 und 3 dargestellt. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der schriftlichen Befragung, Tabelle 3 ergänzt zusätzliche Nennungen des World Cafés. Auf die Angabe von Häufigkeiten wurde hier verzichtet, die kleine Stichprobe hatte nicht das Ziel, zu messen, wie häufig eine Technologie vorkommt, sondern zu verstehen, welches Spektrum darunter verstanden wird. Die genannten Technologien ließen sich in drei Gruppen einteilen. Ein klares und einheitliches Bild über die Wahrnehmung des Begriffs „digitale Technologien“ zeigt sich nicht. Hier erfolgt eine Vermischung der landwirtschaftlichen Technologien und Software.

Digitale Technologien / Software allgemein	Digitale Technologien auf die Landwirtschaft bezogen	Software (wie Feldkalender, Isobus)
Handy	Tränkeautomat	E-Feldkalender IPS
Smartphone	Fütterungsautomat	Smart Cow
Desktop Computer	GPS-gesteuerter Traktor	Agate
Laptop	Spurführsysteme	Kantonale Datenerhebung
GPS	Melkroboter	Behandlungsjournal
Kameras		Beef Net
Photovoltaik-Anlagen	Brunfterkennung	AgroTwin
Biogasanlagen	Herdenmanagementsystem	Strukturdatenerhebung
Software	Drohne DJI Mavic (Viehbeobachtung auf der Alp)	Tierverkehrsdatenbank
Apps		Zeit- und Leistungserfassung
E-Banking		Reservationssysteme
E-Mail		
WhatsApp		

Tab. 2: Kategorien der Antwort von „Welche digitalen Technologien verwenden Sie?“ Antworten aus dem Fragebogen

Entsprechend sind die Antworten auf die Frage aus dem World Café „Was zählt für mich

zur „Digitalisierung der Landwirtschaft?“. Einige zusätzliche Technologien werden erwähnt (siehe Tab. 3).

Digitale Technologien / Software allgemein	Digitale Technologien auf die Landwirtschaft bezogen	Software (wie Feldkalender, Isobus)
Sensoren	Präzise Steuerung von Ausbringungsmengen	
Roboter	Einstreuen	
Internet	Digitale Wetterstation im Obstbau	
Datenaustausch		
Papierloses Büro		
Daten		

Tab. 3: Kategorien der Antwort von „Welche digitalen Technologien verwenden Sie?“ Ergänzungen aus dem World Café

Die Landwirte setzen digitale Technologien in ihrer landwirtschaftlichen Tätigkeit ein (s. Tab. 2/3). Die Frage „Verwenden Sie digitale Technologien?“ wurde von 69 % mit „Ja“ beantwortet. Weitere 41 % beantworteten die Frage „Planen Sie, in Zukunft neue oder zusätzliche digitale Technologien zu erwerben?“ positiv. Um die komplexen Phänomene über die Konzeptwahrnehmung hinaus genauer zu verstehen, war die Einstellung der Landwirte zur Digitalisierung von Interesse. Die Frage „Wie stehen Sie zur Digitalisierung in der Landwirtschaft?“ könnte auf einer 5-Punkte-Likert-Skala beantwortet werden (Abb. 1).



Abb. 1: Antwortkategorien von „Woran denken Sie, wenn Sie ‚Digitalisierung in der Landwirtschaft‘ hören?“

Rund 50 % der Landwirte stehen der Digitalisierung positiv gegenüber.

4 Schlussfolgerung

Diese Studie hat explorativen Charakter und gibt einen Einblick in die Wahrnehmung der Landwirte und Landwirten und welche Themen für sie relevant sind. Aufgrund des Vorstudiencharakters dieser Untersuchung und der geringen Stichprobenzahl muss in weiterer Forschung überprüft werden, in welchem Ausmaß die Ergebnisse für alle Betriebe repräsentativ ist. Wir schätzen und unterstützen die Betonung des Verständnisses des Begriffs, des Konzepts oder der Phänomene „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ und Wahrnehmung durch die Landwirte. Die befragten Betriebsleitenden haben mehrheitlich eine positive Einstellung den Technologien gegenüber, ordnen verschiedene Einzeltechnologien in dieses Konzept ein und nehmen viele damit verbundene Vorteile und Nachteile wahr, wobei hier die negativen Assoziationen überwiegen.

Es ist wichtig, die Perspektive der Landwirte im Auge zu behalten. In jedem Fall müssen die Begriffe genau ausgewählt und in Erhebungen eventuell auch zusätzlich visuell dargestellt werden, um sicherzustellen, dass Befragte und Forschende von gleichen Inhalten sprechen. Darüber hinaus ist es für die Weiterentwicklung digitaler Technologien in der Landwirtschaft und für das Verständnis der Entwicklung der neuen landwirtschaftlichen Dimension und des Anpassungsprozesses wichtig, die Komplexität unterschiedlicher Perspektiven zu diesem Thema zu berücksichtigen, die die verschiedenen Interessengruppen vertreten. Zusammenfassend wird in dieser Studie das Wissen über das Verständnis der Landwirte für die Digitalisierung in ihrer Branche und die Komplexität der Phänomene erweitert. Dieser Beitrag soll auch das Bewusstsein für die Verwendung von Terminologie schärfen. Dies ist insbesondere bei Befragungen der Landwirte zur Akzeptanz und Adaption der digitalen Technologien in der Landwirtschaft zu beachten.

Literaturverzeichnis

- [BLM10] Billon, M.; Lera-Lopez, F.; Marco, R.: Differences in digitalization levels: a multivariate analysis studying the global digital divide. *Review of World Economics*, 146 (1), S. 39-73, 2019.
- [Br10] Brown, J.: *The world café: Shaping our futures through conversations that matter*: ReadHowYouWant.com, 2010.
- [Ma15] Mayring, P.: *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*, 12, Beltz Verlagsgesellschaft, Weinheim, 2015.
- [Re09] Reichardt, M.; Jürgens, C.; Klöble, U.; Hüter, J.; Moser, K.: Dissemination of precision farming in Germany: acceptance, adoption, obstacles, knowledge transfer and training activities. *Precision Agriculture*, 10 (6), S. 525, 2009.
- [SBH10] Shen, S.; Basist, A.; Howard, A.: Structure of a digital agriculture system and agricultural risks due to climate changes. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, S. 42-51, 2010.
- [VMP19] Voronin, B.; Mitin, A.; Pichugin, O.: The complexity of digitization of agriculture in Russia. Paper presented at the International Scientific and Practical Conference “Digital agriculture-development strategy”, 2019.

Detektion eines Grünlandschwades mit Stereo-RGB Kamera

Peter Riegler-Nurscher¹, Johann Prankl¹, Markus Hofinger² und Markus Vincze³

Abstract: Robustes Detektieren von Grünlandschwaden ist die Grundlage für die Automatisierung bei der Heu- und Silage-Ernte. Vor allem bei kleinem Schwadvolumen ist die Detektion basierend auf Daten von 3D-Sensoren fehleranfällig. Es wird eine neue Methode zur Segmentierung einer Schwad in einem RGB-Bild basierend auf einem Convolutional Neural Network (CNN) vorgestellt. Die Methode wird mit der Segmentierung von 3D-Tiefendaten einer Stereo-Kamera mittels Ebenen-Detektion verglichen. Zur Validierung beider Methoden wurden Aufnahmen bei der Silage- und bei der Heuernte manuell annotiert. Es kann gezeigt werden, dass die CNN-basierte Schwaderkennung bei kleinem Volumen eine höhere Genauigkeit erreicht.

Keywords: Grünland, Schwaderkennung, Convolutional Neural Network

1 Einleitung

Automatische Schwadföhrung, Ertragserfassung, Maschinensteuerung und Logistikoptimierung bei der Heu- und Silage-Ernte setzen genaues Lokalisieren und Vermessen einer Grünlandschwad voraus [Sc08]. Aktuelle Methoden nutzen Ultraschall-, Radar- oder Laser-Sensoren bzw. Kameras für diese Aufgabe. Kamerabasierte Schwad-Erkennung ermöglicht es, zusätzliche Informationen, wie Textur und Farbe, zu erfassen [BB11]. Vor allem bei geringen Volumina haben Methoden basierend auf 3D-Daten von Laser-Ranger oder reinen 3D-Kameras Probleme bei der Segmentierung der Schwad. Die in [BB11] vorgestellte Methode zeigt das Potenzial zur Segmentierung basierend auf Stereo-Tiefendaten und Texturinformation.

In diesem Beitrag wird eine neue Methode zur Segmentierung einer Schwad in einem RGB-Bild basierend auf einem Convolutional Neural Network (CNN) vorgestellt. Durch Transfer Learning kann die Methode mit einer geringen Anzahl an Trainingsbildern trainiert werden. Die Kamera ist ca. 45° zur Schwad in Fahrtrichtung geneigt, sodass ein höherer Schwad-Längenausschnitt erfasst werden kann. Durch den Aufbau als Stereo-System können zusätzlich das Volumen und absolute Abstände erfasst werden. Ebenso wurde eine Methode basierend auf den Tiefendaten der Stereokamera zur Schwadsegmentierung implementiert. Ein Vergleich der beiden Methoden zeigt deutlich

¹ Josephinum Research, 3250 Wieselburg, Austria, p.riegler-nurscher@josephinum.at

² Pöttinger Landtechnik GmbH, 4710 Grieskirchen, Austria, markus.hofinger@poettinger.at

³ Technische Universität Wien, Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik, 1040 Wien, Austria, vincze@acin.tuwien.ac.at

bessere Erkennungsraten bei der auf CNN basierenden Methode gegenüber der Segmentierung der Tiefendaten.

2 Material und Methoden

2.1 Kamerasystem

Zur Aufnahme des Schwades wurde eine Stereokamera bestehend aus zwei RGB-Kameras mit Trigger zur Synchronisierung der Bildaufnahme verwendet. Die Kamera wurde dabei aus einer schrägen Perspektive auf die Schwad gerichtet. Zur Segmentierung basierend auf den Tiefendaten wird zuerst eine Stereo-Rekonstruktion durchgeführt. Bei der CNN-Segmentierung wird nur das RGB-Bild der linken Kamera verwendet.

2.2 Stereo-Rekonstruktion

Um eine 3D-Punktwolke aus den Stereo-Aufnahmen der Kameras zu generieren, müssen die Kameras kalibriert werden. Dabei werden die intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter bestimmt. Nach dieser Kalibrierung müssen die Kameraparameter sowie Kamerapositionen relativ zueinander fix gehalten werden.

Nach der Aufnahme der Stereobilder wird eine Entzerrung und Rektifizierung durchgeführt, damit Epipolarlinien in den beiden Bildern horizontal und co-linear ausgerichtet sind. Beim anschließenden Matching wird versucht, Paare von Bildpunkten in der rechten und linken Aufnahme zu finden. Dazu wird das Blockmatching in der opencv Library [Op19] verwendet. Die Punkt-Paare der texturreichen Schwad können damit effizient bestimmt werden. Aus jedem Bildpunkt-Paar kann danach ein Disparity-Wert, der den Versatz in x-Richtung angibt, bestimmt werden. Die Disparity-Map dient als Basis zur Berechnung der 3D-Punktwolke basierend auf den extrinsischen Kameraparametern. Abschließend wird die Punktwolke gefiltert und Outlier entfernt.

2.3 Segmentierung des Schwades basierend auf den Tiefendaten

Bei der Segmentierung des Schwades basierend auf den Tiefendaten wird die generierte 3D-Punktwolke der Stereokamera herangezogen. Bei dieser Methode wird angenommen, dass sich der Schwad im mittleren Bildbereich befindet und der Boden geometrisch eben ist. Die Schritte von Bildaufnahme bis Schwadsegmentierung sind in Abbildung 1 dargestellt.

Im ersten Schritt wird dazu der mittlere Bereich aus der Punktwolke, in dem der Schwad erwartet wird, entfernt. Die verbleibenden Punkte werden zum Bestimmen einer Ebene

herangezogen. Diese Ebene approximiert die Bodenoberfläche und wird mit der SAC-Segmentation der Point Cloud Library (PCL) [Pc19] bestimmt. Danach wird die Punktwolke rotiert, sodass die Bodenoberfläche in der XY-Ebene liegt. In einem abschließenden Schritt werden alle Punkte oberhalb der Ebene in der ursprünglichen Punktwolke markiert.

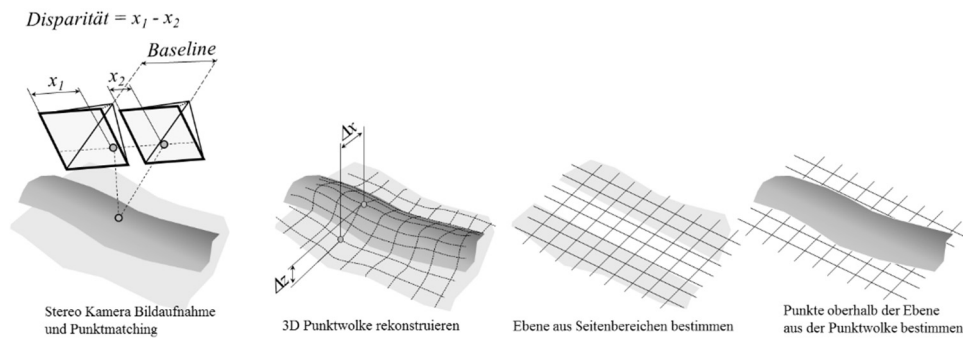


Abb. 1: Schritte von der Bildaufnahme bis zur Segmentierung basierend auf den Tiefendaten der Stereokamera

2.4 Segmentierung des Schwades basierend auf CNN

Bei der zweiten Methode wird eine pixelweise Segmentierung der Schwad-Bereiche mit einem Machine Learning Modell durchgeführt.

Als Ausgangsbasis für das Training des Modells dienen pixelweise manuell annotierte Trainingsbilder in die Klassen Schwad oder keine Schwad. Es wurden 154 Trainingsbilder auf ein vortrainiertes CNN, ein ERFNet [Ro18], trainiert. Das Modell wurde auf ein Zuckerrübensdatenset (sugar beet dataset [Ch17]) vortrainiert. Zur einfachen Anwendung wurde das Framework aus [MS19] verwendet.

CNNs für die semantische Segmentierung verwenden einen Codierer- und Decodierblock nacheinander. Durch Downsampling oder Codierung können tiefere Schichten mehr Kontext erfassen und somit die Klassifizierung verbessern. Dies hat jedoch den Nachteil, dass die Pixelgenauigkeit für die semantische Segmentierung verringert wird. ERFNet verwendet sogenannte Factorized Convolutions mit Residual Connections und führt Non-Bottleneck-1D (non-bt-1D) Layer ein. Diese Kombination von 1D-Filtern ist schneller und hat weniger Parameter als Bottleneck Layer. Die Genauigkeit bleibt dadurch gleich wie bei Non-Bottleneck Layer. ERFNet verwendet einfache Entfaltungsschichten mit Stride 2, um die Speicher- und Rechenanforderungen für die Dekodierung zu verringern. Die Architektur eines CNNs für die semantische Segmentierung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Nach dem Training mit dem Trainingsdatenset können neue 2D-RGB-Testbilder klassifiziert werden. Nach der Klassifizierung der Bildpunkte im RGB-Bild können alle Punkte in die 3D-Punktwolke projiziert werden, um die entsprechenden 3D-Punkte zu markieren.

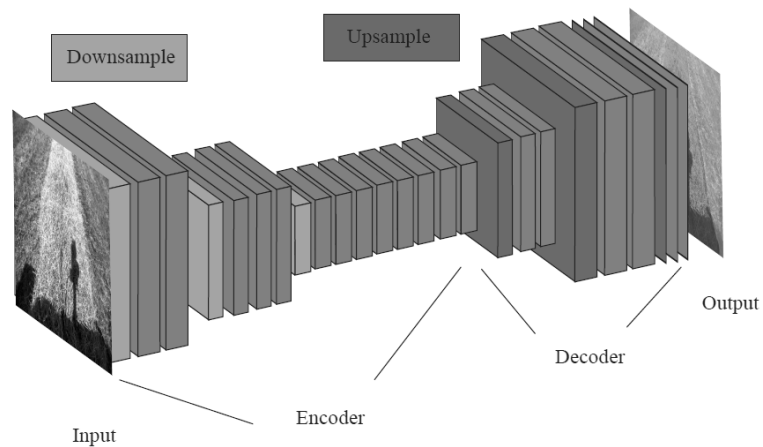


Abb. 2: Architektur des CNN für Semantic Segmentation

3 Ergebnisse

Die Segmentierung inklusive 3D-Punktwolke können in nachfolgenden Prozessen, wie in der Einleitung beispielhaft beschrieben, verwendet werden. Abbildung 3 zeigt ein Beispielbild mit den Stereo-Aufnahmen des Schwades, der 3D-Rekonstruktion und dem markierten Schwad aus der CNN-Segmentierung.

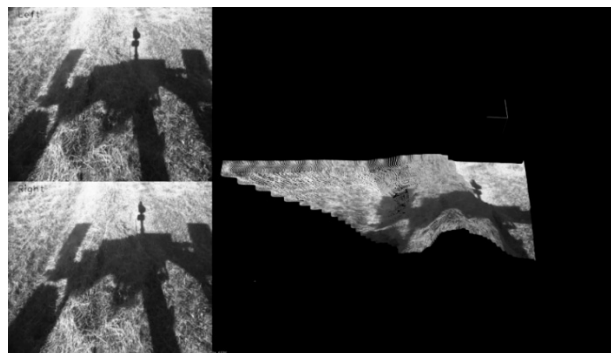


Abb. 3: RGB-Stereo-Bilder eines Schwades (links), Segmentierungsergebnis eines Schwades basierend auf einem CNN (rechts)

Zur Bewertung der Erkennungsrate der beiden Methoden wurden 39 Testsamples aus verschiedenen Szenarien ausgewertet und die in der Bildverarbeitung übliche Metrik der Korrektklassifikationsrate (Accuracy) berechnet. Dabei wird die Anzahl aller richtig klassifizierten Pixel der Gesamtpixelzahl gegenübergestellt. Die Testsamples sind nicht in den Trainingsdaten der CNN-Segmentierung enthalten.

Die Auswertung ergab eine Accuracy von 0,934 für die Segmentierung basierend auf CNN bzw. von 0,820 für die Segmentierung basierend auf der geschätzten Ebene der Tiefendaten.

Abbildung 4 zeigt einige Beispielbilder aus den Testdaten. Bei Schwaden mit geringem Volumen bzw. geringer Höhe, wie in Beispielbild 4 und 5, resultiert bei der Segmentierung basierend auf Tiefendaten ein größerer Fehler. Dies kann durch die geringere Tiefenauflösung des Stereo-Setups gegenüber der Bildauflösung erklärt werden.

Generell können die Genauigkeitseinbußen der Methode basierend auf den Tiefendaten durch geringere Tiefenauflösung, lokale Unebenheiten der Böden und Fehler bei der Ebenschätzung erklärt werden.

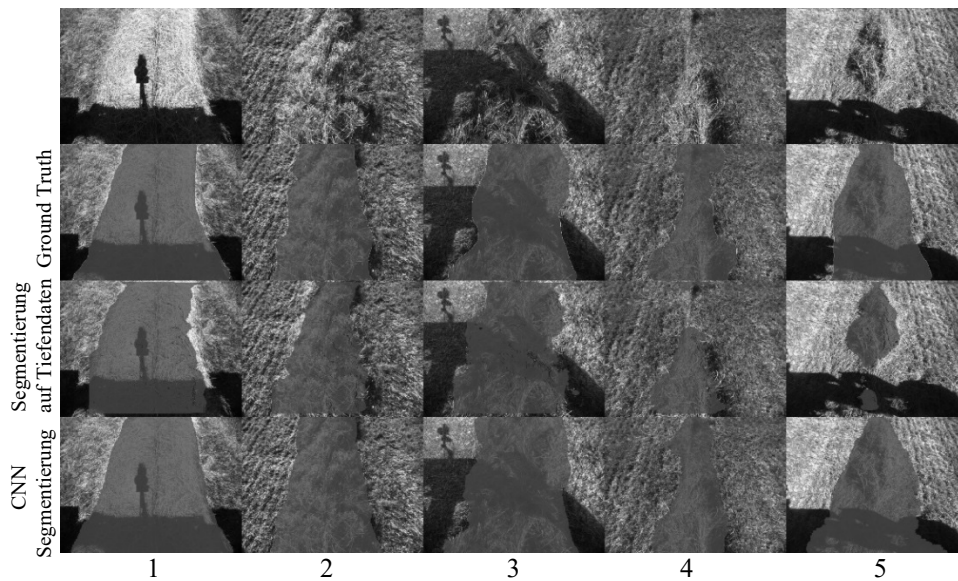


Abb. 4: Beispielbilder von Schwaden mit der manuellen Annotierung (Ground Truth), Segmentierung auf den Tiefendaten und der CNN-basierten Segmentierung

4 Fazit

Die Detektion und Vermessung von Schwaden sind Grundlage für die Automatisierung bei der Heu- und Silage-Ernte und geben Aufschluss über Teilflächenerträge im Grünland. In diesem Beitrag wurde eine neue Methode zur Segmentierung von Schwaden in monokularen Farbbildern basierend auf einem Convolutional Neural Network (CNN) vorgestellt. Die Methode wurde mit dem Stand der Technik, einer Segmentierung in 3D-Punktwolken durch RANSAC und einem Ebenenmodell verglichen. Es wurde gezeigt, dass die CNN-basierte Methode eine höhere Genauigkeit erreicht und auch Schwaden bei geringem Bestand, die sich nicht mehr signifikant von der Bodenoberfläche unterscheiden, segmentieren kann.

In Folgeprojekten soll der Trainingsdatensatz um Bilder von weiteren Kulturen und Stroh, die derzeit nicht abgedeckt sind, erweitert werden. Zusätzlich sollen in die CNN-basierte Methode Tiefendaten integriert werden. Es ist zu erwarten, dass dadurch eine höhere Robustheit bei unterschiedlichen Lichtbedingungen und Schwadgeometrien erreicht werden kann.

Literaturverzeichnis

- [BB11] Blas, M. R.; Blanke, M.: Stereo vision with texture learning for fault-tolerant automatic baling, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 75, Issue 1, Pages 159-168, ISSN 0168-1699, 2011.
- [Ch17] Chebrolu, N.: Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields. *The International Journal of Robotics Research*, 36(10), 1045-1052, 2017.
- [MS19] Milioto, A.; Stachniss, C.: Bonnet: An Open-Source Training and Deployment Framework for Semantic Segmentation in Robotics using CNNs, In *Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Robotics & Automation (ICRA)*, 2019.
- [Op19] OpenCV Library, <https://opencv.org/>, Stand: 28.10.2019
- [Pc19] PCL Library, <http://pointclouds.org/>, Stand: 28.10.2019
- [Ro18] Romera, E.: ERFNet: Efficient Residual Factorized ConvNet for Real-Time Semantic Segmentation, in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 1, pp. 263-272, 2018.
- [Sc08] Schellberg, J. et.al.: Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, 29(2-3), 59-71, 2008.
- [SV14] Schellberg, J.; Verbruggen, E.: Frontiers and perspectives on research strategies in grassland technology, *Crop and Pasture Science*, 65(6), 508-523, 2014

Towards animal welfare monitoring in pig farming using sensors and machine learning

Martin Riekert¹, Tobias Zimpel², Christa Hoffmann³, Andrea Wild⁴, Eva Gallmann⁵ und Achim Klein⁶

Abstract: Animal welfare monitoring has the potential to improve animal welfare and provide quality-oriented differentiation for producers at the same time. However, early approaches to animal welfare monitoring use manual injury scoring and evaluation of slaughter data and other biological data. These approaches are often characterized by manual data collection, with data being evaluated infrequently. Thus, production costs would increase substantially. However, with the advent of high-tech commercial sensor technology, monitoring can be conducted automatically, objectively, and at low cost. The aim of this study is to review the suitability of environmental sensors in combination with machine learning in an intelligent animal welfare monitoring system. The system automatically analyzes data from commercially available low-cost sensors, identifies animal welfare risks and recommends actions for animal welfare.

Keywords: Animal welfare monitoring, environmental sensors, machine learning

1 Introduction

Animal welfare is gaining importance due to value changes by consumers [We16]. These value changes have the potential for price diversification of the meat industry [NGB10]. One economically sustainable option to animal welfare is animal welfare monitoring [JMA17]. Animal welfare monitoring refers to internal company control by suitable animal welfare indicators.

Previous research on animal welfare indicators has focused mostly on the development of guidelines for manual internal monitoring [Za17]. So far, these animal welfare indicators have evaluated injury scoring, slaughter data and other biological parameters [Kt16]. However, such manual animal welfare indicators are sometimes only evaluated every six months and increase production costs [Kt16].

¹ Universität Hohenheim, Information Systems 2, Schwerzstraße 35, 70599 Stuttgart, martin.riekert@uni-hohenheim.de

² Universität Hohenheim, Information Systems 2, Schwerzstraße 35, 70599 Stuttgart, tobias.zimpel@uni-hohenheim.de

³ Magility GmbH, Plochingen Str. 58, 73230 Kirchheim unter Teck, christa.hoffmann@magility.com

⁴ Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg, LSZ, Seehöfer Straße 50, 97944 Boxberg-Windischbuch, andrea.wild@lsz.bwl.de

⁵ Universität Hohenheim, Department of Livestock Systems Engineering, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart, eva.gallmann@uni-hohenheim.de

⁶ Universität Hohenheim, Information Systems 2, Schwerzstraße 35, 70599 Stuttgart, achim.klein@uni-hohenheim.de

Sensors to generate the necessary data are commercially available and are in use in other industry sectors. Thus, for example, 2D cameras, microphone systems and other environmental sensors for recording the housing environment are available (e.g. CO₂ and NH₃). These sensors can be used to detect behavioral changes, e.g. reduced animal activity, water consumption or food intake indicate animal welfare risks [Ma16b; WHK09]. Such behavioral changes can be identified with suitable sensors for animal groups [MK05; Ma17a].

Machine learning algorithms are particularly fit for the automatic analysis of sensor data, since large volumes of data increase their performance [Mi97] and deep learning algorithms can also adapt to unstructured data [LBH15]. However, these methods are largely unexplored in pig farming [KP18].

2 Material and methods

This study is based on the Boxberg Teaching and Research Centre – Centre for pig rearing and pig breeding (LSZ). The LSZ has about 3,500 animal places (pigs) in conventional and alternative breeding methods and an attached slaughterhouse. By selecting this research facility, data from routine operations is available (e.g. feeding, temperature, sow planner and slaughter data). In addition, databases of specially used experimental equipment (e.g. video, RFID, motion loggers) can be accessed from current and completed trials.

Currently, in pig husbandry mainly climate and environmental data (such as air temperature, noxious gas concentration or brightness) and system data (electricity or water meters) are recorded, while sensors for individual animals are rarely used due to the short life of the animals and the relatively high costs [HH19].

Environmental sensors including climate and water quality are important features that directly affect each animal in a pen. In addition to temperature sensors, other environmental parameters include harmful gas sensors for controlling ventilation [MHH06]. Thus the climate of the stable is determined by the factors temperature, humidity and velocity of the air as well as harmful gas concentrations (CO₂, NH₃, H₂S). Commercial sensors for the continuous detection of these environmental parameters are available.

Using video cameras, 3D cameras and deep learning, the position of pigs can be detected [Ma17b; Pe18; Va17]. Movement and recumbent behavior can be evaluated from the data, and modern deep learning methods allow the transfer of the detection system to other pens without reconfiguration of the algorithms [LBH15]. RFID can automatically monitor hotspots in a pen and provides specific data for each pig individually [Ad18; Ha16; Ha17]. For this purpose, readout antennas are attached to each monitored position

(hotspot) [KAG18] and each animal is equipped with one to two ear tags with Ultra High Frequency (UHF) [Ma16a].

3 Results and discussion

Sensors are used at the LSZ Boxberg to examine and monitor environmental factors (including temperature, humidity, air velocity, harmful gas contents), which have an influence on animal behavior. For example, if the pen temperature rises on a hot summer day, then the feed per day of fattening pigs will decrease. The sensors are queried within an interval of 5 seconds. The measured values are retrieved via a programmable logic controller and transferred to a database. In a database, the values are stored only when the previous measurement value is changed. If a sensor fails, we receive an error message via email and the defective sensor can be replaced or repaired (approx. 250 sensors are currently in use).

In the LabelFit project, RFID was used at an activity tower to determine the frequency of visits to the tower. In the tower were different activity materials such as chopped straw or chopped straw with corn kernels. Another project involves behavior at the feeding trough or at the drinking trough. The aim of this research is to identify if there was an outbreak of tail biting before signs in the visiting behavior at the feeding trough or at the drinking trough.

With IP cameras (H.264) the behavior of sows, rearing pigs and fattening pigs is recorded. Depending on the size of the pen and the observed area, up to 4 cameras per pen are in use. The cameras are mounted on the ceiling or the compartment wall. The cameras should be at least IP 66 rated to withstand cleaning and disinfection after each run. PoE (Power over Ethernet) cameras were rarely used, because of the long cable ways a power cable was used instead. PoE, however, simplifies installation of the cameras in the compartment.

Detecting animal welfare risks is addressed by a supervised learning task [Va00]. In supervised learning, a machine learning model is trained to map ($x \rightarrow y$) an input x (features) to an output y (target variables) by previously generated examples of input x and output y [Va00]. In this setting, the aim for machine learning is to inform the farmer at an early stage of behavioral deviations and animal welfare risks (output y) by using available sensor data (input x).

Temperature, CO₂ and other structured sensor data can be preprocessed for usage as machine learning features (input x). However, unstructured sensor data (e.g. RFID, cameras and microphones) will have to be transformed into structured time series data concerning animal behavior (e.g. lying time and hot spot activity). First approaches to transform unstructured data into structured data already exist (e.g. pig position detection from video cameras [YXL18] or RFID hotspot detection [Ad18]).

Finally, combining animal behavior with structured environmental sensors (e.g. potions, air quality, and temperature) can produce predictions about target variables (output y) like production conditions (e.g. cough, lameness, diarrhea, fever), behavioral disorders, errors of the ventilation system and stress potential. The most practical target variables (output y) will be variables that are already recorded. This includes medication, injury scoring, weights and slaughter data. Prediction of these variables early on will allow for better animal welfare and reduced documentation tasks for the farmer. An overview of current machine learning algorithms for sensor data is given in Tab. 1.

Features (input x)	Feature type	Target variable (output y)	Machine Learning algorithms
2D video images	Unstructured data	Lying and feeding behavior	Deep Learning, object detection [YXL18]
CO ₂ , lying behavior, feeding behavior and live weights	Structured time series data	Medication, injury scoring and slaughter data	Linear SVM, Random Forest and Linear Regression [Zi20]

Tab. 1: Machine learning approaches for sensor data

A limitation for usage of machine learning in pig farming is the availability of interlinked sensor data and the necessity for manual individual data cleansing, because of the quality of the currently available target variables (output y). Interlinked and clean data can be achieved by a data platform. Such a data platform achieves this by automated Extract, Transform and Load (ETL) processes, which allows for automated application of the machine learning models in practice. Currently, in pig farming, the availability of data platforms with digital data collection and aggregation is limited [Da19]. Recent work has begun to develop such a data platform [HR18].

4 Acknowledgements

The project "Landwirtschaft 4.0: Info System" is funded the Ministry of Rural Affairs and Consumer Protection Baden-Württemberg. The authors thank the staff at the Boxberg Teaching and Research Centre for their advice during the experiments and especially Hansjörg Schrade, Günter Lenkner, Lilljana Pyrkotsch and Harald Friedrich. Furthermore, we want to thank the federal research project LabelFit and especially Dr. Felix Adrion, Svenja Operbeck, Barbara Keßler, Karen Kauselmann and Benedikt Glitz for discussions and ideas.

References

- [Ad18] Adrion, F.; Kapun, A.; Eckert, F.; Holland, E.; Staiger, M.; Götz, S.; Gallmann, E.: Monitoring trough visits of growing-finishing pigs with UHF-RFID. *Computers and Electronics in Agriculture* 144, Elsevier, p. 144-153, 2018.
- [Da19] DAFA: Fach Forum Nutztiere - Zwischenbilanz nach sieben Jahren, 2019.
- [Ha16] Hammer, N.; Adrion, F.; Staiger, M.; Holland, E.; Gallmann, E.; Jungbluth, T.: Comparison of different ultra-high-frequency transponder ear tags for simultaneous detection of cattle and pigs. *Livestock Science* 187, Elsevier, p. 125-137, 2016.
- [Ha17] Hammer, N.; Pfeifer, M.; Staiger, M.; Adrion, F.; Gallmann, E.; Jungbluth, T.: Cost-benefit analysis of an UHF-RFID system for animal identification, simultaneous detection and hotspot monitoring of fattening pigs and dairy cows. *Landtechnik* 72, p. 130-155, 2017.
- [HH19] Hölscher, P.; Hessel, E.: Automatisiert erfassbare Daten in der Nutztierhaltung – Ein Überblick und zukünftige Forschungsansätze. In: *Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming*, S. 87–93, 2019.
- [HR18] Hoffmann, C.; Riekert, M.: Big Data Analytics in der Tierwohldebatte: Zwischenstand im Projekt „Landwirtschaft 4.0: Info-System“. In: *Lecture Notes in Informatics*, S. 115-118, 2018.
- [JMA17] Jukan, A.; Masip-Bruin, X.; Amla, N.: Smart computing and sensing technologies for animal welfare: A systematic review. *ACM Computing Surveys* 50, p. 1-15, 2017.
- [KAG18] Kapun, A.; Adrion, F.; Gallmann, E.: Activity analysis to detect lameness in pigs with a UHF-RFID system. In: *10th International Livestock Environment Symposium (ILES X)*. St. Joseph, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2018.
- [KP18] Kamilaris, A.; Prenafeta-Boldú, F.: Deep Learning in Agriculture: A Survey. *Computers and Electronics in Agriculture* 147, p. 70–90, 2018.
- [Kt16] KTBL: Tierschutzindikatoren: Leitfaden für die Praxis - Schwein. Darmstadt, 2016.
- [LBH15] LeCun, Y.; Bengio, Y.; Hinton, G.: Deep learning. *Nature* 521, p. 436–444, 2015.
- [Ma16a] Maselyne, J.; Saeys, W.; Briene, P.; Mertens, K.; Vangeyte, J.; De Ketelaere, B.; Hessel, Engel F.; Sonck, Bart; U. A.: Methods to construct feeding visits from RFID registrations of growing-finishing pigs at the feed trough. *Computers and Electronics in Agriculture* 128, Elsevier, p. 9-19, 2016.
- [Ma16b] Matthews, S.; Miller, A.; Clapp, J.; Plötz, T.; Kyriazakis, I.: Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs. *The Veterinary Journal* 217, Elsevier, p. 43–51, 2016.
- [Ma17a] Maselyne, J.; Van Nuffel, A.; Briene, P.; Vangeyte, J.; Ketelaere, B.; Millet, S.; Van den Hof, J.; Maes, D.; Wouter S.: Online warning systems for individual fattening pigs based on their feeding pattern. *Biosystems Engineering*, p. 1-14, 2017.
- [Ma17b] Matthews, S.; Miller, A.; Plötz, T.; Kyriazakis, I.: Automated tracking to measure behavioural changes in pigs for health and welfare monitoring. *Scientific Reports* 7, p. 1-12, 2017.

- [MHH06] Müller, K.; Hesse, A.; Hahne, J.: CO₂-Messungen im Mastschweinstall. *Landtechnik* 61, S. 158-159, 2006.
- [Mi97] Mitchell, T.: *Machine Learning*: McGraw Hill, 1997.
- [MK05] Madsen, T.; Kristensen, A.: A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behaviour. *Computers and Electronics in Agriculture* 48, p. 138-154, 2005.
- [NGB10] Napolitano, F.; Girolami, A.; Braghieri, A.: Consumer liking and willingness to pay for high welfare animal-based products. *Trends in Food Science and Technology* 21, p. 537-543, 2010.
- [Pe18] Pezzuolo, A.; Guarino, M.; Sartori, L.; Marinello, F.: A Feasibility Study on the Use of a Structured Light Measurements of Dairy Cows in Free-Stall Barns *Sensors* 18, 2018.
- [Va00] Vapnik, V.: *The nature of statistical learning theory*, Springer, 2000.
- [Va17] Valletta, J.; TOrney, C.; Kings, M.; Thornton, A.; Madden, J.: Applications of machine learning in animal behaviour studies. *Animal Behaviour* 124, Elsevier Ltd, p. 203–220, 2017.
- [We16] Weible, D.; Christoph-Schulz, I.; Salamon, P.; Zander, K.: Citizens' perception of modern pig production in Germany: a mixed-method research approach. In: *British Food Journal* 118, p. 2014-2032, 2016.
- [WHK09] Weary, D.; Huzzey, J.; Von Keyserlingk, M.: Board-invited Review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. In: *Journal of Animal Science* 87, p. 770–777, 2009.
- [YXL18] Yang, Q.; Xiao, D.; Lin, S.: Feeding behavior recognition for group-housed pigs with the Faster R-CNN. *Computers and Electronics in Agriculture* 155, Elsevier, p. 453-460, 2018.
- [Zi20] Zimpel, T.; Riekert, M.; Hoffmann, C.; Wild, A.: Maschinelle Lernverfahren zur frühzeitigen Prognose der Handelsklasse. In: *Lecture Notes in Informatics*, 2020.
- [Za17] Zapf, R.; Schultheiß, U.; Knierim, U.; Brinkmann, J.; Schrader, L.: Assessing farm animal welfare – guidelines for on-farm self-assessment 72, p. 214-220, 2017.

Ökonomisches, ökologisches und zeitliches Einsparpotenzial eines Milkruns beim Flüssiglebensmitteltransport zwischen Italien und Deutschland

Welche Potenziale birgt ein Milkrun zur Logistiko-optimierung?

Michael Schmid, Teresa Hoiss und Heinz Bernhardt ¹

Abstract: Durch die zunehmende Spezialisierung landwirtschaftlicher Betriebe verbunden mit einer regionalen Konzentration landwirtschaftlicher Urproduktion in Europa steigt der Transport von Erzeugnissen nicht nur innerhalb einzelner Länder, sondern auch zwischen Ländern. Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieses Beitrages das ökonomische, ökologische und zeitliche Einsparpotenzial eines Milkruns zwischen Deutschland und Italien im Vergleich zu einer Doppelfahrt analysiert werden. Zur Simulation wird exemplarisch der Transport von Rohmilch von Deutschland nach Italien und der Transport von Wein von Italien nach Deutschland betrachtet. Die ökonomische Bewertung erfolgt mittels der Vollkostenrechnung. Die Quantifizierung der Treibhausgasemissionen basiert auf dem Well-to-Wheel-Ansatz. Die Verwendung eines Milkruns ermöglicht ein ökonomisches, ökologisches und zeitliches Einsparpotenzial von ca. 50 %. Deshalb sollen zur Kosten- und Treibhausgasreduzierung Milkruns zum Transport von Flüssigprodukten zwischen Deutschland und Italien verwendet werden.

Keywords: Logistiko-optimierung, Treibhausgasreduzierung, Milkrun, Reduzierung des Leerfahrtenanteiles

1 Einleitung

Die Milchbranche stellt in Deutschland mit einem Umsatz von 26 Mrd. Euro im Jahr 2018 die zweitwichtigste Branche in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie dar. Gleichzeitig bietet die gesamte Wertschöpfungskette Milch aufgrund der Milcherzeugung und der Milchverarbeitung in ländlichen Regionen einen wichtigen Arbeitgeber. Jedoch erfordert der Selbstversorgungsgrad von 118 % Milchäquivalent in Deutschland den Export von Milchprodukten, Rohmilch oder Konzentrat [Mi18]. Italien ist nach den Niederlanden der wichtigste Abnehmer des Rohstoffes Milch. Aufgrund der vorherrschenden Standortfaktoren in Italien bietet der Weintraubenanbau verbunden mit der Weinproduktion eine Existenzgrundlage für Winzer und für den vor- und nachgelagerten

¹ Chair of Agricultural Systems Engineering/Technical University of Munich, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weihenstephan, Germany, {michael.schmid, teresa.hoiss, heinz.bernhardt}@wzw.tum.de

Bereich. Da der Selbstversorgungsgrad von Wein in Deutschland bei 43 % liegt, ist der Import von Wein beispielsweise aus Italien erforderlich [St19].

Vor dem Hintergrund der Exportnotwendigkeit von Milchderivaten und der Importnotwendigkeit von Wein nach Deutschland ermöglichen Milkruns eine Logistikoptimierung [WS14]. Bei einem Milkrun handelt es sich in der Logistik um eine Strategie zur Optimierung der logistischen Vorgänge. Die Zielstellung eines Milkruns liegt darin, einen maximal gefüllten LKW mit möglichst wenig Leerfahrten auf definierten Touren zu bewegen. Damit liegt die Zielsetzung eines Milkruns in der Reduzierung des Leerfahrtenanteiles [BB12].

Deshalb soll im Rahmen dieses Beitrages analysiert werden, welches ökonomische, ökologische und zeitliche Einsparpotenzial ein Milkrun beim Austausch von Rohmilch und Wein zwischen Italien und Deutschland im Vergleich zu einem Einzeltransport liefert.

2 Material und Methoden

Im betrachteten Fallbeispiel wird der Milkrun eines Transportes zwischen Deutschland und Italien analysiert. Dabei wird der separate Transport von Rohmilch von Nürnberg nach Mailand ohne Rückfracht, und der Transport von Wein von Verona nach Augsburg ohne Rücktransport mit einem Milkrun verglichen. Bei der vorliegenden Simulation beschreibt der Milkrun, dass der in Nürnberg mit Milch beladene LKW die Rohmilch in Mailand entlädt, in Verona Wein einlädt, den er bei der Rückfahrt nach Nürnberg wieder in Augsburg entlädt. Nachfolgende Abbildung 1 stellt diese Szenarien anhand einer Landkarte dar.



Abb. 1: Betrachtete Orte der Logistiksimulation

Quelle: [Go19]

Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, beträgt die gesamte Strecke des Milkruns 1.560 km. Nachfolgende Tabelle 1 zeigt die einzelnen Strecken zwischen den analysierten Orten auf.

Ort 1	Ort 2	Strecke in km
Nürnberg	Mailand	740
Mailand	Verona	160
Verona	Augsburg	511
Augsburg	Nürnberg	149
Gesamt		1.560

Tab. 1: Strecken zwischen den Orten zur Logistiksimulation

Die Gesamtstrecke des Rohmilchtransportes von Nürnberg nach Mailand beträgt 1.480 km, die sich aus der beladenen Hinfahrt von 740 km nach Mailand und der unbeladenen Rückfahrt nach Nürnberg von 740 km zusammensetzt (Tabelle 1). Im Bereich des simulierten Weintransportes besteht die zugrunde gelegte Gesamtstrecke in Höhe von 1.022 km aus dem beladenen Transport von 511 km von Wein nach Augsburg und der unbeladenen Rückfahrt nach Verona von 511 km.

Zur Logistiksimulation wird die Verfahrensvariante Milchtransportaufleger mit Zugmaschine mit einer Nutzlast von 27.000 kg zu Grunde gelegt. Die Simulation basiert auf der Annahme, dass die Nutzlast bei allen Szenarien jeweils voll ausgenutzt wird. Zur ökonomischen Bewertung wird die Vollkostenkalkulation verwendet. Die ökologische Analyse fußt auf dem Well-to-Wheel-Ansatz. Die Datenbasis der bedeutsamsten ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Eingabeparameter zur Simulation zeigt nachfolgende Tabelle 2.

Kennzahl	Wert	Einheit
Vollkosten Fahrt unbeladen	1,00	€/km
Vollkosten Fahrt beladen	1,05	€/km
Routinetätigkeit beladen/entladen jeweils	27,18	€/Vorgang
Treibhausgasemissionen beladen	1.185,19	g CO ₂ /km
Treibhausgasemissionen unbeladen	992,25	g CO ₂ /km
Treibhausgasemissionen Entladung und Reinigung	41.492,25	g CO ₂ /Vorgang
Zeitbedarf Fahrt beladen	0,0216	h/km
Zeitbedarf Fahrt unbeladen	0,0214	h/km
Zeitbedarf Routinetätigkeit Entladung/Reinigung	1,32	h/Vorgang

Tab. 2: Bedeutsame Eingabeparameter zur ökonomischen, ökologischen und zeitlichen Simulation

Die in Tabelle 2 aufgezeigten Vollkosten der „Fahrt beladen“ und der „Fahrt unbeladen“ setzen sich jeweils aus dem Lohnansatz für den Fahrer, den Treibstoff, die Wartungskosten, die Kapitalkosten der erforderlichen Transportmittel, die Versicherung und die Mautkosten zusammen. Der höhere Diesel- und Zeitbedarf der „Fahrt beladen“ begründet die höheren Vollkosten im Vergleich zur „Fahrt unbeladen“. Die szenarienspezifische Simulation ist strategisch an die einzelnen Verfahrensschritte angelehnt. Weitere Informationen dazu können aus [SWB18] entnommen werden.

3 Ergebnis und Diskussion

Die Ergebnisse hinsichtlich Vollkosten, Treibhausgasemissionen und Zeiteffizienzkennzahlen für die simulierten Szenarien zeigt nachfolgende Tabelle 3. Die in Tabelle 3 aufgeführten Einsparpotenziale resultieren aus der Differenz der Kennzahl des Milkruns und dem Mittelwert der Einzeltransporte, die für dieselbe Logistikleistung des „Milkruns“ erforderlich sind.

Logistikkennzahl	Szenarien			Einsparpotenzial	
	A	B	C	absolut	Relativ %
Vollkosten in €Ct/kg	5,72	3,98	2,99	1,86	61,60
Treibhausgasemissionen in g CO ₂ /kg	61,21	42,75	35,78	16,21	45,30
Zeiteffizienzkennzahl in s/kg	4,34	3,03	2,35	1,34	56,90

Szenario A: Milchtransport von Nürnberg nach Mailand mit unbeladener Rückfahrt

Szenario B: Weintransport von Verona nach Augsburg mit unbeladener Rückfahrt

Szenario C: Milkrun

Tab. 3: Ergebnisse der Logistiksimulation und daraus resultierende Einsparpotenziale der Logistiksimulation

Die große Distanz zwischen Nürnberg und Mailand begründet die höchsten Vollkosten, Treibhausgasemissionen und die höchste Zeiteffizienzkennzahl im Szenario A zwischen den betrachteten Szenarien (Tabelle 3). Das größte Einsparpotenzial zwischen den analysierten Logistikkennzahlen liegt mit 1,86 €Ct/l bzw. 61,60 % im Bereich der Vollkosten. Damit können pro Milkrun 1.004,40 Euro eingespart werden. Dieses ökonomische Einsparpotenzial wird sowohl durch den reduzierten spezifischen Zeitbedarf als auch durch den geringeren Dieselbedarf des Milkruns im Vergleich zu den Einzeltransporten begründet. Die hohen Einsparpotenziale gehen mit einer Reduzierung des Leerfahrtenanteiles einher. Der Leerfahrtenanteil des simulierten Milkruns liegt bei 19,82 %, während die Szenarien A und B jeweils 50,00 % Leerfahrtenanteil erfordern. Neben dem geringeren Leerfahrtenanteil des Milkruns tragen die lediglich um 0,05 €Ct/km höheren Vollkosten der „beladenen Fahrt“ im Vergleich zur „unbeladenen Fahrt“ zum hohen ökonomischen Einsparpotenzial bei. Damit würde mit einer Zunahme der Vollkostendifferenz zwischen der „beladenen Fahrt“ und der „unbeladenen Fahrt“ das ökonomische Einsparpotenzial des Milkruns sinken. Gleichzeitig steigt jedoch mit einer Reduzierung des Leerfahrtenanteiles das Einsparpotenzial, wie aus der Simulation resultiert.

Damit liegen die Vorteile des Milkruns im vorliegenden Beispiel in der Reduzierung der analysierten Logistikkennzahlen. Jedoch stellen Milkruns höhere Anforderungen an die Logistikorganisation, da die Quellen und Senken zeitlich aneinandergekoppelt werden müssen. Dies kann bei kurzfristig organisierten Transporten beispielsweise durch Rohstoffüberschüsse einzelner Molkereien zu kurzfristigen Transportnotwendigkeiten nach Italien führen, während sich kurzfristig kein Rücktransport durchführen lässt.

Jedoch ist es aufgrund des erhobenen Einsparpotenzials möglich, die Strategie der Milkruns auch auf andere Agrarlogistikbereiche wie beispielsweise den Getreidetransport, Tiertransport oder Schüttguttransport oder auch auf andere Logistikbereiche auszuweiten.

4 Fazit

In diesem Beitrag wird exemplarisch das ökonomische, ökologische und zeitliche Einsparpotenzial eines Milkruns im Vergleich zu den jeweiligen Transporten ohne Rückfracht ermittelt. Dabei beträgt das ökonomische Einsparpotenzial 61,60 %, das ökologische Einsparpotenzial 45,30 % und das zeitliche Einsparpotenzial 56,90 %.

Die Anwendung eines Milkruns ist nicht nur im Bereich des Flüssiglebensmitteltransportes anwendbar, sondern auch in vielen anderen Logistikbereichen. Da jedoch die Optimierung einzelner Transporte von zahlreichen Faktoren bzw. Restriktionen beeinflusst wird, ist eine individuelle Bewertung hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und zeitlicher Logistikkennzahlen erforderlich. Der zunehmende Wettbewerbsdruck im Bereich Logistik erfordert eine zunehmende Optimierung, während die derzeit laufenden gesellschaftlichen und politischen Diskussionen hinsichtlich Klimaschutzstrategien und -zielen eine Treibhausgasemissionsreduzierung erfordern.

Literaturverzeichnis

- [BB12] Bretzke, W.-R.; Barwaki, K.: Nachhaltige Logistik. Antworten auf eine globale Herausforderung. 2. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-642-29370-2.
- [Go19] Google Maps: Routenplaner. Online verfügbar unter <https://www.google.de/maps/dir/N%C3%BCrnberg/Mailand,+Italien/Verona,+Italien/Augsburg/N%C3%BCrnberg/@>, zuletzt aktualisiert am 03.11.2019.
- [Mi18] Milchindustrieverband: Geschäftsbericht 2018/2019. Berlin, 2018.
- [SWB18] Schmid, M.; Wörz, S.; Bernhardt, H.: Milk transport costs and carbon emissions of various triggered milk logistic chains. In: New engineering concepts for a valued agriculture, AgEng Conference 2018, Wageningen, 2018.
- [St19] Statistisches Bundesamt: Selbstversorgungsgrad von Wein in Deutschland. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/462330/umfrage/selbstversorgungsgrad-bei-wein-in-deutschland/>, zuletzt aktualisiert am 03.11.2019.
- [WS14] Wildemann, H.; Specht, D.: Entwicklung eines Ansatzes zur CO₂-Footprint-Optimierung von Logistikstrukturen und -prozessen unter besonderer Berücksichtigung der e-mobility. München, 2014.

Voraussetzungen für die Entwicklung von IT-Lösungen zur Umsetzung höherer Tierwohlstandards am Beispiel des Schwanzbeißens in der Schweinemast

Sirkka Schukat¹, Heinke Heise¹ und Marie Diekmann¹

Abstract: Die Schweinemast steht in Deutschland zunehmend im öffentlichen Diskurs. Politiker und Verbraucher fordern die Umsetzung höherer Tierwohlstandards in den Ställen, die sich maßgeblich am natürlichen Lebensumfeld der Tiere orientieren sollen. Auf einzelbetrieblicher Ebene sind jedoch viele der geforderten Maßnahmen als unrealistisch oder unprofitabel zu bewerten. Durch den fortwährenden technischen Fortschritt entstehen jedoch neue Ansatzpunkte, um die Tierwohlstandards in der Schweinemast mithilfe von IT-gestützten Systemen zu erhöhen. Dieser Beitrag zeigt Ansätze zur Definition und Messung von Tierwohl in der Schweinemast auf. Im Ergebnisteil werden die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementation von neuen Technologien in der modernen Schweinemast am Beispiel Schwanzbeißen abgeleitet. Schwanzbeißen schränkt das Tierwohl ein und mindert die Schlachtkörperqualität des Tieres. Es wird gezeigt, dass smarte Technologien zukünftig eine wichtige Rolle in der Tierüberwachung und -kontrolle einnehmen werden.

Keywords: Schweinemast, Smart Farming, Smart Products, Tierwohl

1 Einleitung

Die Schweinemast ist in Deutschland ein bedeutsamer Wirtschaftszweig und hat sich seit Mitte der 90er Jahre auffallend dynamisch entwickelt. Fortschritte in der Tierzucht, -ernährung und Stalltechnik haben in den vergangenen Jahrzehnten den ökonomischen Erfolg der Schweinemast vorangetrieben [Hö16]. Mittlerweile ist jedoch zu beobachten, dass die intensive Nutztierhaltung zunehmend an Akzeptanz in der Gesellschaft verliert. Stattdessen werden verstärkt eine tieregerechtere Haltung sowie die Berücksichtigung ethischer Aspekte gefordert. Auch eine grundsätzliche Neuausrichtung der Tierhaltung rückt verstärkt in den Mittelpunkt der öffentlichen Diskussionen [Sp15]. Als Reaktion auf die Kritik seitens der Gesellschaft und zur Förderung des Tierwohls wurden verschiedene Tierwohlprogramme und -initiativen, wie z. B. die Initiative Tierwohl, entwickelt. Zudem wurden Gesetzesänderungen zum Schutz der Nutztiere eingeleitet. Vor allem Verbraucher und Politik fordern die Etablierung höherer Tierwohlstandards in der Landwirtschaft [Sp15]. Bei deren Planung und Umsetzung sollte jedoch bedacht werden, dass einige der von Verbrauchern gewünschten Maßnahmen in der praktischen Schweinemast für den Landwirt aufgrund des erhöhten Aufwands oder höherer Produktionskos-

¹ Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Georg-August-Universität Göttingen, Platz der Göttingen Sieben 5, 37073 Göttingen, sirkka.schukat@uni-goettingen.de, marie.diekmann@agr.uni-goettingen.de, heinke.heise@agr.uni-goettingen.de

ten aus wirtschaftlicher oder arbeitstechnischer Sicht nicht zu realisieren sind. Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie wird daher nach neuen Möglichkeiten gesucht, das Tierwohl zu steigern und gleichzeitig die Interessen von Landwirten, Verbrauchern und Politik zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit die Industrie 4.0 durch die Digitalisierung und Automatisierung unterschiedlichster Prozesse zur Entwicklung neuer Ansätze zur Verbesserung des Tierwohls in der Nutztierhaltung beitragen kann. Eine kontinuierliche Kontrolle der Tiere ist durch den einzelnen Landwirt oftmals nicht umsetzbar. Der vorliegende Beitrag befasst sich daher mit der Fragestellung, wie sich Technologien gezielt entwickeln und einsetzen lassen, um die tierhaltenden Landwirte bei der Umsetzung eines höheren Tierwohls zu unterstützen. Am Beispiel des Schwanzbeißen in der Schweinemast wird der Ansatz zur Implementierung eines Use Case vorgestellt. Hierzu wird zunächst das Verständnis von Tierwohl umrissen, bevor ein vierstufiger Ansatz zur Implementierung IT-gestützter Lösungen durchgeführt wird.

2 Tierwohl: Definition, Kriterien, Probleme

Im Hinblick auf eine einheitliche Definition und Verwendung des Begriffes Tierwohl, im internationalen Sprachgebrauch auch als Animal Welfare bezeichnet, herrscht in der Wissenschaft kein allgemeiner Konsens [HT15]. Im Kern fokussiert der Terminus Tierwohl auf die Vermeidung von Schmerzen, Leiden und Schäden sowie die Sicherung des Wohlergehens des Tieres. Allerdings werden Aspekte des Tierwohls oft aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet. So stellt der Biological Functioning Ansatz die biologischen Funktionen des Tieres in den Vordergrund, sodass Tierwohl erst dann gegeben sein kann, wenn die biologischen Funktionen und Prozesse hinsichtlich der Faktoren Gesundheit, Leistung und (Re-)Produktion uneingeschränkt ablaufen [DFS12]. Der Natural Living Ansatz hingegen strebt möglichst natürliche Haltungssysteme an, die das uneingeschränkte Ausleben angeborener Verhaltensweisen erlauben [Fr03]. Gegenwärtig liegt der Fokus weniger auf der Art und Qualität der Lebensumstände der Tiere als auf dem Zustand des Tieres selbst, wenn es darum geht, tierbezogene Indikatoren zur Erfassung des Tierwohls zu ermitteln [We10]. Zu den tierbezogenen Indikatoren gehören z. B. Kondition, Gesundheit, Verletzungen und Verhalten. Im Rahmen des Welfare Quality Forschungsprojekts war das Ziel, Tierwohl mittels dieser Indikatoren messbar zu machen. Folgende Kriterien und Subkriterien wurden dafür aufgestellt:

Kriterien	Subkriterien
Gute Fütterung	1. Abwesenheit von anhaltendem Hunger 2. Abwesenheit von anhaltendem Durst
Gute Haltung	3. Komfort beim Ruhen 4. Thermischer Komfort 5. Erleichterung der Bewegung
Gute Gesundheit	6. Abwesenheit von Verletzungen 7. Abwesenheit von Krankheiten 8. Abwesenheit von Schmerzen
Artgemäßes Tierverhalten	9. Ausdruck von sozialem Verhalten 10. Ausdruck anderen Verhaltens 11. Gutes Mensch-Tier-Verhältnis 12. Abwesenheit von genereller Angst

Tab. 1: Beurteilung von Tierwohl nach dem Welfare Quality Ansatz [We10]

Aus den verschiedenen Subkriterien werden einzeltierbezogene Maßnahmen zur Bewertung abgeleitet. Als Beispiel sei die Wasserversorgung von Mastschweinen anzuführen, bei denen der Zustand des Tränkwassers manuell geprüft wird. Auf Grundlage der Beurteilung wird der Zustand der Tränken klassifiziert. Dafür liegt eine Skala vor, in der der ermittelte Zustand eingetragen wird und einen dazugehörigen Skalenwert erhält. Die Summe der Skalenwerte aller erfassten Maßnahmen zu den Subkriterien ergibt einen Tierwohl-Gesamtwert, anhand dessen die Situation des eigenen Tierbestands ermittelt werden kann [We10]. Während die Bewertung des Tierwohls im eigenen Bestand mittels des Animal Welfare Ansatzes grundsätzlich eine Momentaufnahme abbildet, gibt es jedoch Probleme in der Schweinemast, die eine kontinuierliche Überwachung der Tiere erfordern. Dazu zählt z. B. das Schwanzbeißen, welches das größte Problem in der konventionellen Schweinemast darstellt, indem es das Tierwohl der Schweine durch Schmerzen und Leiden massiv einschränkt [Eu07]. Das Schwanzbeißen ist eine Verhaltensstörung bei Schweinen, die aufgrund multifaktorieller Ursachen seit der Intensivierung der Nutztierhaltung auftritt. Es wird definiert als das zielgerichtete Verletzen des Schwanzes durch Manipulation mit dem Maul in unterschiedlichen Schweregraden [Ta10]. Langfristig bedeutet das Schwanzbeißen einen wirtschaftlichen Schaden für den Landwirt durch eine reduzierte Schlachtkörperqualität der Tiere [KKB19].

3 IT-gesteuerte Tierwohllkontrolle am Beispiel des Schwanzbeißens

Technologische Lösungen für die Problematiken des Tierwohls in der Schweinemast sollten die folgenden vier Voraussetzungen erfüllen:

1. Detaillierte Problembeschreibung
2. Messbare Indikatoren und Datenerfassung
3. Umsetzung durch technologischen Befähiger
4. Umfassende Praxisvalidierung

Anhand des Fallbeispiels Schwanzbeißen werden diese Voraussetzungen veranschaulicht. Die erste Voraussetzung für die Entwicklung eines Use Case ist eine detaillierte Problembeschreibung. Diese sollte auch die Auswirkungen und Konsequenzen desselben beinhalten. Das vorliegende Problem ist Schwanzbeißen beim Schwein. Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen für die Tiere ergeben sich zum einen aus der Verletzung selbst, zum anderen auch durch Infektionen, die zu Abzessbildungen oder Pyämien führen können. Keimansiedlungen und Abzessbildungen im Tierkörper führen weiterhin dazu, dass die Schlachtkörper verworfen werden müssen oder deren Qualität massiv beeinträchtigt wird [Ha14]. Daraus folgen wirtschaftliche Einbußen für den Landwirt.

Die zweite Voraussetzung für die Entwicklung eines praxistauglichen Use Case ist das Vorliegen eindeutiger und messbarer Indikatoren. Die Erfassung der Daten auf Grundlage der Indikatoren erfolgt anhand geeigneter und anwendungsfallabhängiger Sensorik. Diese liefert zumeist analoge Größen, die zeit- und wertkontinuierlich sind. Zur digitalen Verarbeitung werden diese analogen Größen mittels drei Phasen in äquivalente Digitalwerte gewandelt: Abtastung, Quantisierung und Codierung [Ka05]. Für das Schwanzbeißen sind nur wenige Frühindikatoren bekannt. Dazu zählen die Schwanzhaltung der Tiere und der Aktivitätsgrad. So konnte ein erhöhter Aktivitätsgrad in Tiergruppen vor Ausbrüchen beobachtet werden [SGM09]. Außerdem stellt die Schwanzhaltung einen Indikator dar: Vor Ausbrüchen von Schwanzbeißen wurde eine Zunahme eingeklemmter Schwänze der Tiere beobachtet [LAP18].

Die dritte Voraussetzung zur Entwicklung des Use Case ist die praktische Umsetzung durch einen technologischen Befähiger oder die Anwendung einer bestehenden Technologie mit dem Aufstellen neuer Algorithmen. An dieser Stelle wird insbesondere das Zusammenspiel von Hard- und Softwarekomponenten adressiert. Die digitalen, gespeicherten Daten der Indikatoren können durch rechnergestützte Anwendungen verwendet werden, mit denen die Daten in Vorgänge, Prozesse und Arbeitsabläufe eingebettet werden können, sodass folglich eine Automatisierung von Vorgängen, Prozessen und Arbeitsabläufen ermöglicht wird. Für das Schwanzbeißen in der Schweinemast dient zum Beispiel die Anwendung von Bildverarbeitungssystemen dem Ziel der Vorhersage von Schwanzbeißausbrüchen. Bilddaten jeder Bucht können mittels Time-of-Flight-3D Ka-

mera (Hardware) aufgenommen und mit entsprechenden Algorithmen (Software) verarbeitet werden [De18].

Die umfassende Praxisvalidierung erfolgt als letzte Voraussetzung zur Etablierung eines Use Case. Für das Schwanzbeißen wird die Validierung anhand einer wissenschaftlichen Studie exemplarisch dargestellt. In dieser wird die Vorhersage von Schwanzbeißausbrüchen in der Schweinemast mit Hilfe der Anwendung von Bildverarbeitungssystemen dargestellt. Die Validierung des Algorithmus ergab eine Genauigkeit von 73,9 % bei der Erkennung von eingeklemmten gegenüber nicht eingeklemmten Schwänzen. Die Daten aus den Gruppen mit Schwanzbeißausbrüchen zeigten, dass sich die Anzahl der Tiere mit eingeklemmten Schwänzen vor dem Ausbruch erhöhte und nach dem Ausbruch zurückging. Vor einem Ausbruch vermehrte sich die Anzahl eingeklemmter Schwänze im Laufe der Zeit mit zunehmender Geschwindigkeit. Zudem war die Anzahl der eingeklemmten Schwänze eine Woche vor dem Ausbruch höher als zwei Wochen vor dem Ausbruch. Beim Vergleich zwischen der über die 3D-Kamera erfasste Schwanzhaltung und den Schwanzverletzungen korreliert die Anzahl der positiven Bilddaten mit der Anzahl an verletzten Schweinen [De18].

4 Fazit

Der vorliegende Beitrag zeigt, dass Tierwohlkriterien und -probleme Ansätze für IT-Lösungen in der Schweinemast darstellen. Die praktische Ausarbeitung hat teilweise auf wissenschaftlicher Ebene stattgefunden, z. B. in der automatischen Auswertung von Indikatoren in der frühen Erkennung von Schwanzbeißen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass durch smarte Technologien Vorteile und Chancen zur Einhaltung von Tierwohlkriterien in der Schweinemast gewonnen werden können. Diese Vorteile und Chancen beziehen sich unter anderem auf eine einfachere Tierkontrolle, z. B. durch eine videogestützte Tierbeobachtung mit automatischen Warnmeldungen für die Buchten, wodurch eine schnellere Gefahrenkontrolle ermöglicht und der Landwirt arbeitszeittechnisch entlastet wird. Die wichtigste Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung und Implementierung derartiger Technologien ist jedoch die Quantifizierung des Tierwohls, bzw. der Gesundheit und der Verhaltensmuster auf Ebene des Einzeltiers in Form von Daten. Einen Ansatz, wie die Bewertung erfolgen könnte, liefert das Welfare-Quality-Protokoll. Zukünftiger Forschungsbedarf besteht neben der Entwicklung smarterer Lösungen, die unmittelbar das Tier betreffen, auch im Bereich von Lösungen, die im Spannungsfeld zwischen Tierhaltung und Öffentlichkeit stehen. Dazu zählen Themen wie Antibiotikaeinsatz, Emissionen, die Art der Haltung inkl. des Platzbedarfs, die räumliche Konzentration der Tierhaltung sowie die Länge der Transportstrecken.

Literaturverzeichnis

- [De18] D'Eath, R.; Jack, M.; Futro, A.; Talbot, D.; Zhu, Q.; Barclay, D.; Baxter, E.: Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. *PLOS ONE* 13/4, S. 1-18, 2018.
- [DFS12] Deimel, I.; Franz, A.; Spiller, A.: Animal Welfare: eine empirische Analyse landwirtschaftlicher Frames. *German Journal of Agricultural Economics* 61/2, S. 114-126, 2012.
- [Eu07] European Food Safety Association: Scientific report on the risk associated with tail biting in pigs and possible means to reduce the need for tail docking considering the different housing and husbandry systems. *The European Food Safety Association Journal* 5/12, S.1-13, 2007.
- [Fr03] Fraser, D.: Assessing Animal Welfare: different philosophies, different scientific approaches. *Zoo Biology* 28/6, S. 507-518, 2003.
- [Ha14] Harley, S.; Boyle, L.; O'Connell, N. E.; More, S. J.; Teixeira, D.; Hanlon, A.: Docking the value of pigmeat? Prevalence and financial implications of welfare lesions in Irish slaughter pigs. *Animal Welfare* 23/3, S. 275-285, 2014.
- [HT15] Heise, H.; Theuvsen, L.: Biological Functioning, Natural Living oder Welfare-Quality: Untersuchungen zum Tierwohlverständnis deutscher Landwirte. In: *Berichte über Landwirtschaft* 93/3, 2015.
- [Hö16] Hölscher, R.: Zukunft der Schweinehaltung – wirtschaftlich, tiergerecht und gesellschaftlich akzeptiert. *Landtechnik Agriculture Engineering* 71/3, S. 107-108, 2016.
- [Ka05] Karrenberg, U.: Signalverarbeitung. Signale – Prozesse – Systeme: Eine multimediale und interaktive Einführung in die Signalverarbeitung. Berlin: Springer, 2005.
- [KKB19] Klaatborg, J.; Kristensen, R.; Brandt, P.: The effect of pen environment on pen mate directed behaviour prior to feeding in finisher pugs with intact tails. *Livestock Science* 219, S. 35-39, 2019.
- [LAP18] Larsen, M. L.; Andersen, H. M.; Perderson, L. J.: Tail posture as a detector of tail damage an early detector of tail biting in finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 209, S. 30-35, 2018.
- [SGM09] Statham, P.; Green, L.; Mendl, M.: Predicting tail-biting from behavior of pigs prior to outbreaks. *Applied Animal Behaviour Science* 121/4, S. 157-164, 2009.
- [Sp15] Spiller, A.; Zühlsdorf, A.; Gauly, S.; Kühl, S.: Wie wichtig ist Verbrauchern das Thema Tierschutz? <https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Tierschutz-Umfrage-Ergebnisbericht-Langfassung-vzbv-2016-01.pdf>, 27.10.2019.
- [Ta10] Taylor, N.; Main, D.; Mendl, M.; Edwards, S.: Tail-biting; A new perspective. *The Veterinary Journal* 186/2, S. 137-147, 2010.
- [We10] Welfare Quality. Welfare Quality assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Welfare Quality Consortium, Lelystad, Niederlande, 2010.

Teilflächenspezifische Phosphordüngung: Beitrag zur Verbesserung der Phosphoreffizienz?

Sören Schulte-Ostermann¹ und Peter Wagner¹

Abstract: Die Endlichkeit der primären Phosphorressourcen und stetig wachsende Anforderungen an die Düngungsstrategien seitens der Umwelt fordern eine Verbesserung des Faktoreinsatzes von Phosphor. Das zur Düngebedarfsermittlung verbreitete Bodenprobenentnahmeraster – z. B. 3 ha oder 5 ha – und die Anwendung von Durchschnittserträgen zur Phosphor-Entzugsermittlung können fälschlicherweise eine Homogenität im Nährstoffbedarf der Pflanzen unterstellen. Auf Grundlage kleinräumig gewonnener Erprobungsergebnisse einer Praxisfläche in Mitteldeutschland werden der Düngebedarf und die Ertragsmessungen der konstanten einer teilflächenspezifischen Düngungsstrategie gegenübergestellt. Das Ergebnis demonstriert, dass eine bedarfsorientierte Düngung zu einer Verbesserung der Phosphoreffizienz beitragen kann.

Keywords: Phosphoreffizienz, bedarfsorientierte Düngung, Ertragseffekt, Precision Farming

1 Einleitung

Die Novellierung der Düngeverordnung im Jahr 2017 restringiert die Stickstoff- sowie Phosphorausbringung und erhöht die Anforderungen an die Landwirte. Umwelteinflüsse von Nährstoffüberschüssen aus der Pflanzenproduktion und die Endlichkeit der Phosphorressourcen fordern verbesserte Düngungsstrategien in der landwirtschaftlichen Praxis [BM17; BG13]. Auch die bundesweite Absenkung der Phosphorgehaltsklassen im Jahr 2018 der VDLUFA zur Düngebedarfsermittlung können die Relevanz einer bedarfsorientierten Grunddüngung erhöhen, um hohe Erträge auch zukünftig sicherzustellen. Die in der landwirtschaftlichen Praxis angewendeten Probenentnahmeraster von z. B. 3 ha bis 5 ha können fälschlicherweise eine Flächenhomogenität unterstellen, die die wahren Nährstoffgehalte im Boden nicht abbildet. Die Anwendung durchschnittlicher Pflanzenentzüge zur Düngebedarfsermittlung fördern die Entwicklung dieses Prozesses. Durch eine fehlende Berücksichtigung kleinräumiger Bodenbeprobungsanalysen und Pflanzenentzüge in der Düngungsstrategie kann sogar die Heterogenität gesteigert werden. Außerdem wird das Ertragspotenzial des Standortes durch Unter- oder Überdüngung nicht ausgenutzt oder die Umwelt unnötig belastet. Aktuelle Technologien bei der Ertragskartierung oder Bodensensoren können die Grundlage für die Planung einer bedarfsorientierten Grunddüngungsstrategie darstellen und die praxisübliche flächeneinheitliche Nährstoffapplikation substituieren. Es liegt auf der Hand, dass Lösungskonzepte etabliert werden müssen, um Nährstoffüberschüsse zu verringern und die Nährstoffeffizienz langfristig zu

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

verbessern. Mit Hilfe detaillierter Flächeninformationen kann eine optimale teilflächenspezifische Düngestrategie in den Praxisbetrieb integriert werden, die langfristig auch auf heterogenen Standorten den idealen Nährstoffbedarf der Pflanzen berücksichtigt.

2 Methode

Der Versuchsbeginn erfolgte im Jahr 2006 auf einem 65-Hektar-Schlag des Lehr- und Versuchsgutes Görzig der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Die Fläche ist in ein kleinräumiges Beprobungsraster von 1/8 ha aufgeteilt. Die Arbeitsbreite der landwirtschaftlichen Maschinen des Praxisbetriebes determiniert die Parzellengröße von 36 m x 36 m (1.296 m²), siehe Abb. 1.

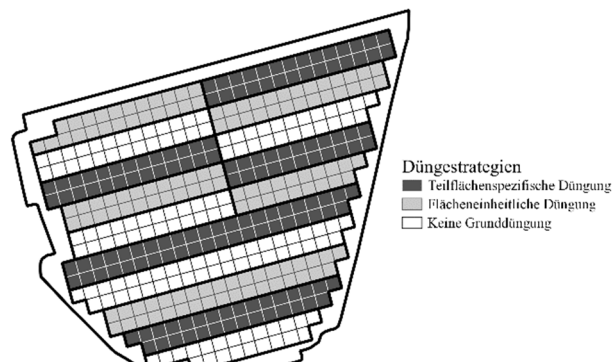


Abb. 1: Versuchsaufbau – n = 412 Parzellen

Der Versuchsschlag gliedert sich in drei Grunddüngungsvarianten – teilflächenspezifische/variable Düngung (VD: n = 149), konstante/flächeneinheitliche Düngung (KD: n = 128) und eine unbehandelte Variante (ND: n = 135). Stickstoff wird bei den drei Strategien einheitlich appliziert. Die Randflächen werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Das gesamte Feld wurde in den Jahren 2006, 2011, 2017 und 2018 kleinräumig analysiert (Phosphor-, Kaliumgehalte und pH-Werte). In diesem Beitrag dient die Bodenuntersuchung aus dem Jahr 2011 der Düngebedarfsermittlung einer viergliedrigen Fruchtfolge (Ertragsannahmen zur Entzugsberechnung: WW – 80 dt/ha, WW – 80 dt/ha, WG – 80 dt/ha, WR – 45 dt/ha) für den betrachteten Zeitraum von 2012 bis 2015. Der errechnete Phosphorbedarf wird jährlich nach der Ernte auf den Pflanzenbestand appliziert. Aus einer kontinuierlichen Funktion wird für den Versuchsschlag der Phosphorbedarf in Abhängigkeit des P-Gehaltes im Boden und aus den durchschnittlichen Pflanzenentzügen berechnet (118,94 kg/ha P nach [LL19]). Dieses Verfahren richtet sich nach der Klasseneinteilung der VDLUFA, berücksichtigt jedoch in Stufen von „0,1 mg CAL-P/100 g Boden“ die vorgefunden Phosphorgehalte des Standortes.

Die Düngebedarfsermittlung bei der VD erfolgt über die kleinräumigen Beprobungsergebnisse jeder einzelnen Parzelle ($n = 149$) und den durchschnittlichen Entzügen. In den Ergebnissen werden auch die Düngermengen unter Berücksichtigung der kleinräumigen Beprobungsergebnisse und der kleinräumigen Pflanzenentzüge vergleichend dargestellt (Tab. 1). Bei dem konstanten Verfahren wird der Düngebedarf durch den Mittelwert der Bodengehalte aller konstanten Parzellen ($n = 128$) und aus den durchschnittlichen Pflanzenentzügen berechnet.

Die Erntedaten werden für die Jahre 2012 (Winterweizen), 2014 (Winterraps) und 2015 (Winterweizen) verwendet. Die georeferenzierte Volumenstrommessung von Claas dokumentiert kleinräumig die Ertragsdaten. Fehlerhafte Messwerte sind durch ein eigens an der Universität Halle entwickeltes Vorgehen identifiziert und der Datenpool auf Grundlage der tatsächliche Rückwiegung des landwirtschaftlichen Betriebes kalibriert. Das Jahr 2013 bietet keine auswertbaren kleinräumigen Messwerte. In diesem Jahr werden die gleichen Entzüge für die gesamte Fläche auf Basis der betrieblichen Rückwiegung eingesetzt. Die Ertragsdaten dienen der Berechnung der parzellenindividuellen jährlichen Pflanzenentzüge und werden der tatsächlich zugeführten Phosphordüngermenge in dem jeweiligen Jahr gegenübergestellt.

3 Ergebnisse

Gehaltsklasse mg CAL-P/100 g Boden	Variable Düngungsvariante				Konstante Düngungsvariante	
	Fläche ha	Düngermenge kg/ha		Differenz	Fläche ha	Düngermenge kg/ha einheitl. Boden entzug***
		teilfl. Boden einheitl. Entzug*	teilfl. Boden entzug**			
A $\leq 2,4$	0,00	-	-	-	0,13	173,64
B 2,5 - 4,8	12,57	215,41	240,40	24,99	9,72	173,64
C 4,9 - 7,2	5,31	159,36	179,87	20,50	5,05	173,64
D 7,3 - 10,4	1,17	101,08	112,88	11,80	0,91	173,64
E $\geq 10,5$	0,26	0,00	0,00	0,00	0,78	173,64
	$\bar{\emptyset}$ kg / ha	190,19	212,82	22,62	$\bar{\emptyset}$ kg / ha	173,64

* Düngerbedarf auf Basis teilflächenspezifischer Bodenuntersuchung und einheitlichem Pflanzenentzug

** Düngerbedarf auf Basis teilflächenspezifischer Bodenuntersuchung und teilflächenspezifischem Pflanzenentzug

*** Düngerbedarf auf Basis einheitlicher Bodenuntersuchung und einheitlichem Pflanzenentzug

Tab. 1: Vergleich des Düngebedarfs nach Variante

Tabelle 1 veranschaulicht den Düngebedarf (kg/ha) in Abhängigkeit der VDLUFA-Bodengehaltsklasse, differenziert nach der teilflächenspezifischen und der flächeneinheitlichen Düngungsvariante. Das Ausgangsniveau der Nährstoffe im Boden kann sich somit zwischen den Varianten unterscheiden, siehe Spalte „Fläche“. In der Gehaltsklasse „B“ der VD werden 12,57 ha Versuchsfläche mit einem Planungsbedarf von 215,41 kg/ha Phosphor für die viergliedrige Fruchtfolge ausgewiesen (Düngermenge/Jahr = 53,88 kg/ha). Unter Berücksichtigung des teilflächenspezifischen Ertragsniveaus ist ein höherer Phosphorbedarf von 240,41 kg/ha sinnvoll. Dies entspricht einen Mehraufwand von 25 kg/ha im Vergleich zur einheitlichen Entzugsberechnung bei der VD.

Die in der unteren Zeile abgebildeten durchschnittlichen Messwerte sind gewichtet nach der jeweiligen Anzahl (n) der Teilflächen. Innerhalb der VD wird ein durchschnittlicher Düngerbedarf von 190,19 kg/ha errechnet, jedoch ist unter der Berücksichtigung des kleinräumigen Pflanzenentzuges eine Düngermenge von 212,82 kg/ha notwendig.

Bei der konstanten Düngungsvariante ist der berechnete Mittelwert aller Parzellen 5,25 mg CAL-P/100 g Boden (vgl. VD = 4,94). Die Einordnung erfolgt somit für die konstante Variante in die Gehaltsklasse (GK) „C“. Jede Parzelle hat damit einen kalkulatorischen Düngbedarf von 173,64 kg/ha. Im Vergleich mit der VD werden bei der KD Teilflächen unter- oder übersorgt mit Phosphor.

Gehaltsklasse mg CAL-P/100 g Boden	Variable Düngungsvariante					Konstante Düngungsvariante			
	Fläche ha	Effizienz* (Jahr)			Fläche ha	Effizienz* (Jahr)			
		2012	2014	2015		2012	2014	2015	
A <= 2,4	0,00	-	-	-	0,13	0,40	0,71	0,37	
B 2,5 - 4,8	12,57	0,49	0,93	0,61	9,72	0,41	0,73	0,53	
C 4,9 - 7,2	5,31	0,38	0,68	0,49	5,05	0,42	0,75	0,54	
D 7,3 - 10,4	1,17	0,26	0,56	0,33	0,91	0,39	0,74	0,44	
E >= 10,5	0,26	0,00	0,00	0,00	0,78	0,46	0,85	0,56	

*(Phosphor in kg/ha) / (Ertrag in dt/ha)

Tab. 2: Effizienz nach VDLUFA Gehaltsklasse und Erntejahr

Tabelle 2 demonstriert das Verhältnis von Ertrag zur applizierten Düngermenge (laut Düngplan). Exemplarisch werden die Ergebnisse anhand der variablen Variante erläutert. Die in GK „C“ genannte Menge von 39,84 kg/ha/Jahr Phosphor (159,36 kg/ha bei vier Kulturen – Tabelle 1) wird ausgebracht. Der Quotient aus dem Faktorinput (Phosphor) und dem Output (Ertrag i.H.v. 105,53 dt/ha) beim Winterweizen 2012 weist einen Wert von 0,38 (P 39,84 kg/ha / Ertrag 105,52 dt/ha) aus. Im Vergleich ergibt sich bei der KD ein Wert von 0,42 (P 43,41 kg/ha / Ertrag 103,95 dt/ha). Je niedriger der Wert ist, desto besser ist die Ausnutzung des Produktionsfaktors (P). Dies bedeutet, dass im Jahr 2012 die Effizienz durch eine bedarfsorientierte Düngung in der Gehaltsklasse „C“ im Vgl. gesteigert werden konnte. Die höhere Effizienz innerhalb der VD basiert auf einer geringeren P-Düngermenge. In der konstanten Düngungsvariante befindet sich ein hoher Anteil unterversorgter Parzellen, z. B. GK „B“ von 9,72 ha. Dies führt zu einem niedrigeren durchschnittlichen Bodengehalt aller Parzellen, wodurch auch in GK „C“ auf Grund des Düngalgorithmus mehr P zugeführt wird. Ebenso wird eine Verbesserung des Faktoreinsatzes Phosphor in den Gehaltsklassen „D“ und „E“ dokumentiert. Dies ist durch den verringerten Düngereinsatz in den gut versorgten Teilflächen begründet. Es wird darauf hingewiesen, dass das Ergebnis auf einem kleinen Stichprobenumfang basiert.

Im Zeitverlauf, nach Beginn der Versuchsanstellung 2006, konnten insbesondere in der VD Veränderungen in den Bodengehalten dokumentiert werden. Die Effekte bzw. der Variationskoeffizient der Nährstoffbodengehalte getrennt nach Düngungsstrategien werden

in Tabelle 3 dargestellt. Eine Reduktion bei der VD von 0,41 (2006) zu 0,28 (2018) impliziert eine Annäherung der gemessenen Bodengehalte im Zeitverlauf. Im Vergleich steigert eine unterlassene Düngung die Heterogenität der Nährstoffgehalte im Boden.

Variante	2006	2011	2017	2018
Variable Düngung	0,41	0,40	0,31	0,28
Konstante Düngung	0,54	0,61	0,44	0,54
Unbehandelt	0,44	0,55	0,53	0,68

Tab. 3: Variationskoeffizienten nach Düngevarianten

Dieser Prozess lässt vermuten, dass in Abhängigkeit des Standortes die Relevanz einer bedarfsorientierten Düngung wächst, um negative Effekte (z. B. Ertragsminderungen) durch eine Über- oder Unterversorgung mit Nährstoffen auf ein tolerierbares Maß zu beschränken.

4 Diskussion

Von 1990 bis 2002 wurde die Phosphoreffizienz auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland stetig gesteigert. In Abhängigkeit von der Region wird seit 2004 deutschlandweit mehr Phosphor durch das Erntegut abgeführt als durch die Düngapplikation zugeführt [FB10; Me15]. Trotz dieses Trends sind keine negativen Ertragseffekte dokumentiert. Aus diesem Grund wurden auf Basis langfristig durchgeführter Versuchsanstellungen der VDLUFA im Jahr 2018 die Phosphorgehaltsklassen abgesenkt [VD18]. Mit diesen neuen Rahmenbedingungen wird zukünftig deutlich weniger Phosphor appliziert werden können und die P-Gehalte im Boden voraussichtlich reduziert. Phosphor ist elementar für das Wachstum der Pflanzen und beeinflusst z. B. die Stickstoffaufnahme und andere Prozesse in der Pflanze [Lo04]. In diesem Kontext kann eine bedarfsorientierte Grunddüngung an Bedeutung gewinnen. Denn zurzeit erfolgt die Düngbedarfsermittlung auf den landwirtschaftlichen Betrieben mit durchschnittlich ermittelten Phosphorpflanzenentzügen. Berücksichtigung finden Hoch- und Niedrigertragszonen bei diesem Vorgehen nicht. Die Notwendigkeit einer bedarfsorientierten Düngapplikation liegt auf der Hand, denn das Ertragsniveau determiniert die benötigten Nährstoffmengen (vgl. Tab. 1). Hohe Erträge werden durch solide Nährstoffversorgungen sichergestellt und müssten auch langfristig erhalten bleiben. Hingegen kann auf Teilflächen mit geringem Ertragsniveau auftreten, dass durch überschüssige Düngermengen eine Anreicherung der nicht benötigten Nährstoffmenge stattfindet (vgl. Tabelle 3). Erhöhte Düngekosten und negative Umwelteffekte sind perspektivisch zu erwarten. Bei dem in dieser Analyse angewendeten Verfahren ist weiterhin die Erfassung der Ertragsdaten kritisch zu beurteilen, denn die Ertragsmessungen durch die Mährescher und die anschließende Ertragsdatenaufbereitung kann fehlerbehaftet sein. [No07].

Zusammenfassend kann die in der Praxis übliche konstante Düngungsstrategie durch Informationsverluste zu einer suboptimalen P-Verteilung führen, siehe Spalte „Fläche“ in Tabelle 1. Eine Über- oder Unterversorgung der jeweiligen kleinräumigen Teilbereiche ist das Ergebnis. In dem betrachteten Zeitraum wird durch die variable Düngung eine Verbesserung der Phosphoreffizienz erzielt. Teilflächen in den unterversorgten Gehaltsklassen „A“ und „B“ müssen bei einer Effizienzbetrachtung nicht berücksichtigt werden, da man langfristig die Nährstoffgehalte im Boden anhebt und diese Düngermehraufwendungen nicht mehr notwendig sind.

Mehraufwendungen bei unterversorgten Teilflächen sind durch steigende Erträge zu rechtfertigen. Ertragseffekte von durchschnittlich 13,41 €/ha bei Wintergerste, 17,92 €/ha bei Winterraps und 18,04 €/ha bei Winterweizen durch Erreichen der idealen Phosphorversorgung (Abweichung von GK: C) sind auf der gleichen Versuchsfläche bereits identifiziert [SW17]. Die kleinräumigen Pflanzentzüge und vor allem die kleinräumigen Nährstoffgehalte im Boden müssen zukünftig präziser in die Düngebedarfsermittlung einfließen. Langfristig werden so Erträge gesichert und negative Umwelteffekte fortlaufend reduziert.

Literaturverzeichnis

- [BG13] BGR: Phosphat – Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit, 2013.
- [BM17] BMEL: *Novelle der Düngeverordnung: Düngen nach guter fachlicher Praxis*. [Online] Verfügbar auf: https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Duengung.html (Accessed 29 June 2017), 2017.
- [FB10] Frede, H.-G.; Bach, M.: Phosphor in der deutschen Landwirtschaft – Bilanzen und Effizienzen. Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V. und des Bundesarbeitskreises Düngung (20. - 21.04.2010), 2010.
- [LL19] LLG Sachsen-Anhalt: Hinweise zur Phosphor -Düngebedarfsermittlung, 2019.
- [Lo04] Lorenz, F.: Wenn P und K fehlen. So ändern sich Ertrag, Düngebedarf, Nährstoffausnutzung und Bodenvorräte, 2004.
- [Mo15] Montag, D.; Everding, W.; Malms, S.; Pinnekamp, J.; Reinhard, J.; Fehrenbach, H.; Arnold, U.; Trimborn, M.; Goldbach, H.; Klett, W.; Lammers, T.: Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz. *Umweltbundesamt*. 98228, 2015.
- [No07] Noack, P.O.: Ertragskartierung im Getreidebau. KTBL, 2007.
- [SW17] Schulte-Ostermann, S.; Wagner, P.: Ökonomische Effekte einer bedarfsgerechten Grunddüngung. *Digitale Marktplätze und Plattformen*. LNI 2018. S 227-230.
- [VD18] VDLUFA: Standpunkt - Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf, 2018.

Totally Digital? Adoption of Digital Farm Management Information Systems

Dorothee Schulze Schwering¹ and Dominic Lemken¹

Abstract: Digital applications are widely used in agricultural practice and offer opportunities to increase agricultural productivity and safety. In recent years, especially digital farm management information systems (FMIS) combined with mobile applications have made technical progress, which has significantly increased their potential to e.g. enhance sustainability, facilitate networking processes, reduce working time or cut costs. However, the low number of active FMIS users shows that their potential has not yet been fully exploited in practice. This study examined the factors that influence agricultural adaptation behaviour of FMIS using data from a survey of 285 German farmers. Results show that the actual use of FMIS was determined particularly by the assessment of the suitability of the systems for the respective farm, economic efficiency and compatibility of the systems were the main factors that affected intended use. To transform farmers from intended to actual users, the providers of FMIS should work on overcoming these barriers.

Keywords: Farm management information systems, agriculture, regression analysis, digitization

1. Introduction

Especially in the context of the increasing sustainability of production and transparency of farms, digitalisation is gaining importance [Wa17]. The amount of digital equipment by farmers is constantly growing. In the last four years, the ownership of smartphones and tablets by German farmers has increased two and a half times and four times, respectively [K118]. Digital farm management tools have been integrated into the daily work process and “easy” apps on mobile devices, such as weather data, can nowadays be regarded as almost obligatory [MBM19]. However, more complex digital farm management information systems (FMIS) are still rarely used, and almost half of the farmers keep the handwritten form of documentation [K118] or use spreadsheet systems (Microsoft Excel). Reasons for low adoption rates might be, among others, the high initial costs, farmers’ habits and preferences, a lack of economic benefits [EA15] and the lack of knowledge about the applications [K118]. Further barriers to acceptance are data protection concerns and the incompatibility of the various digital applications [Ga17]. Nevertheless, complexity and scope of data acquisition and processing in agriculture are increasing considerably, which is gradually changing the landscape and the approaches to developing such digital and mobile farm management systems [HAF17]. High demands for digital data management as well as new and improved farm management systems will stimulate

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen, dorothee.schulze-schwering@agr.uni-goettingen.de; dominic.lemken@agr.uni-goettingen.de

a growing market. Yet, little is known about the factors that influence the adoption of FMIS by German farmers. This paper aims to assess the status quo regarding the use of farm management systems as digital applications by agricultural enterprises in Germany. It also provides indications regarding which factors influence the adaptation of FMIS. The results should support the further development process of FMIS and its marketing.

2. Materials and Methods

The results are based on a standardised online survey of German farmers, which was disseminated with the snowball effect: the link was forwarded via personal contacts, e-mail, and social networks in June 2019. Predominantly, 5-point Likert scales (from 1 "fully agree" to 5 "fully disagree") were used, on which respondents could share their attitudes towards farm management information systems as well as make other selected statements. In addition, participants were asked how frequently, to what extent and for which applications they used agricultural apps and farm management systems. After data cleaning based on fast, unusual or incomplete cases, 285 valid sets out of 328 data sets remained for further analysis. Data analysis was carried out with the SPSS 25 statistical software using univariate, bivariate, and multivariate analysis methods. First, a factor analysis (main component analysis) to compress the large number of items into one factor was performed [Bü14]. Subsequently, a linear regression model to estimate the factors that influence the actual and intended use of FMIS was used. The requirements necessary for a regression analysis were validated by means of variance inflation factor, significance of the F-test, and the Durbin-Watson test, where all indicators were within permissible limits.

3. Results

The farms surveyed were predominantly (> 85%) conventional, professional farms with an average farm size of about 350 hectares. 45% of the farms were integrated farms (animal husbandry and arable farming), while 25% and 24%, respectively, focused on arable farming and fodder production. On average, the surveyed farmers were 37.5 years old and more than 45% of the respondents held a university degree. The study is not representative of the entire national farming population, as participants were younger, relatively better educated, and managed larger farms than the average farmer in Germany. This result can partly be attributed to the fact that the survey was conducted online and only reached a certain type of audience. This should therefore be taken into consideration when interpreting the results. Nevertheless, it should also be kept in mind that these young, well-educated, large-scale farmers represent the new generation of farm managers and thus the future user group of FMIS.

Regarding the operational use of internet-enabled mobile devices, 98% of the respondents stated that they used a smartphone. 89% of the respondents used agricultural apps, mainly

weather, communication, and documentation apps. Within the sample, 55% stated that they already used FMIS, with 72% claiming that they had been using FMIS for more than one year. The majority of FMIS users (90.5%) stated that they applied FMIS on mobile devices (smartphones/tablet), where the systems were accessed more frequently in the form of apps (93%) rather than through a mobile browser (55.2%). The systems were most frequently accessed in the areas of documentation (93.7%) and planning (68.4%). Respondents stated that they used FMIS on a daily to weekly basis. The results show that farmers were only moderately satisfied with the current range of FMIS, with less than half of the farmers (39%) being satisfied. The future readiness-for-use is around 75% overall. Of the non-users, about 48% plan to use FIMS in future. The aim of the present study was to identify the factors that determine the current and potential future use of FMIS and to rank their importance. For that reason, a factor analysis was carried out.

Statements	FL ^b	Mean
Technical self-confidence of respondents Cronbach's Alpha: 0.784		
For me, both the handling and use of farm management systems are easy to learn.	0.819	2.45
I am confident that I will be able to familiarize myself with farm management systems.	0.802	1.94
I am confident that I will be able to solve numerous operational tasks with the help of farm management systems.	0.667	2.52
Farm management systems are easy to integrate into my daily work routine.	0.603	2.53
Willingness to pay for FMIS Cronbach's Alpha: 0.719		
I am willing to pay permanently for the use of farm management systems (monthly, annually).	0.830	2.98
The use of farm management systems should be free of charge.	-0.724	2.60
I am willing to pay for additional features that complement the free basic versions of farm management systems.	0.721	2.76
I am willing to pay a one-time fee for the use of farm management systems.	0.557	2.42
Perceived Economic advantages of FMIS Cronbach's Alpha: 0.715		
Farm management systems are cost-effective.	0.757	2.78
I can see/assume that my business success increases using farm management systems.	0.745	3.14
Farm management systems save time.	0.598	2.40
Mistrust of FMIS Cronbach's Alpha: 0.766		
I consider FMIS to be a threat in terms of potential data misuse.	0.852	2.70
I am afraid that my data will be misused.	0.832	2.68
I don't trust the providers of farm management systems.	0.638	3.52
^a 5 Likert Scale (1 fully agree to 5 fully disagree); ^b Factor loading; KMO=0.853; EV= 63.65%		

Tab. 1: Results of factor analysis

Table 1 shows the results of the factor analysis. Farmers were confident that they would be able to familiarise themselves with FMIS on their own but only partly confident that they would be able to solve operational and daily tasks with FMIS. The mean values show that respondents only partially trusted in FMIS and their willingness-to-pay was in a moderate range. Economic efficiency and time advantages were more strongly associated with FMIS than cost-effectiveness.

Independent Variable	Dependent Variable	A: Current use behaviour ^b		B: Intended use ^a	
		Size of effect (β)	T-Value	Size of effect (β)	T-Value
	Technical self-confidence ^a	0.178***	3.244	0.266***	5.242
	Willingness to pay ^a	0.079	1.500	0.202***	4.144
	Perceived Economic efficiency ^a	0.171*	3.322	0.377***	7.923
	Mistrust of FMIS ^a	-0.133*	-2.618	-0.147**	-3.137
	I would use FMIS more often if they were more compatible with existing technology or systems ^a	0.016	-0.311	0.209***	4.273
	Farm management systems are not suitable for my business ^a	-0.308***	-5.670	-0.011	-0.223
	Age	-0.113*	-2.077	0.059	1.167
	University degree (1)	-0.014	-0.269	-0.041	0.848
	Farm size	-0.176*	-3.399	-0.009	-0.193
Reference:	Growth	-0.117*	-2.186	-0.090*	-1.819
hold current	Restructuring	-0.050	0.943	-0.057	-1.156
status	Cessation	-0.028	0.565	-0.023	0.504

A: Dep. Variable "Current use"; Cor. R²: 0.320; F: 12.145***; Durbin-Watson 1.97;
 B: Dep. Variable "I intend to use FMIS more frequently in the future"; Cor. R²: 0.420; F: 18.139***; Durbin-Watson 1.99; ^a5 Likert Scale (1 fully agree; to 5 fully disagree); ^b5 Likert Scale (1 daily to 5 never). Significance at the level of $p \leq 0.05$ (*), $p \leq 0.01$ (**), $p \leq 0.001$ (***)

Tab. 2: Factors influencing current and future FMIS usage

By means of a regression analysis, the relationship between the identified factors, the compatibility and suitability of the FMIS, and farmers' current and intended future use of FMIS was examined. In addition, socio-demographic data (age, education) as well as the farm size were considered. The results show that about 32% (R²) and 42% (R²) of the variance of the estimated current and future FMIS usage can be explained by the identified factors (see Tab. 2). The results show that the identified factors can model the intended use more precisely than the current use. According to the standardised coefficient (beta), current use was particularly dependent on how suitable a farmer considered his farm to be

for FMIS ($\beta=-0.308^{***}$). The suitability was not significant for the intended use; here, the compatibility of the systems was a much more decisive factor. A better compatibility of FMIS would have a positive impact on farmers' intention to use FMIS. Technical self-confidence had the second strongest influence on actual and intended usage, where a higher degree of technical confidence was positively correlated with current and future FMIS use behaviour. Whether a farmer planned to use or continue to use FMIS in the future depended most strongly on the system's economic advantages. However, economic advantages influenced the intention to use more strongly than the current use. While a lack of trust in FMIS was a relevant factor for current and intended use, the willingness-to-pay (WTP) also positively affected the intention to use. Farmers with a higher WTP were more likely to use FMIS in the future. Results show that with increasing age and farm size the intensity of use increased. Age, farm size and educational level did not significantly influence the intention to use, which could possibly be explained by the characteristics of the sample. However, whether a farmer used or intended to use FMIS on his farm depended significantly on his growth orientation.

4. Discussion and conclusion

This study provides first insights into the current and intended usage behaviour of farm management information systems by farmers in Germany. The results help to understand the potentials and challenges of farm management information systems. The high utilisation rate, compared to other studies [Ts17], confirms a positive trend in the implementation of FMIS. While in earlier studies, the smartphone was given a minor role as an access medium to FMIS [Ts17], a strong tendency towards mobile FMIS use can be observed today.

Lack of IT know-how is often mentioned as a barrier [Ga17]. The results of this study could lead to the assumption that it is maybe not the farmers' technical competence but their technical self-confidence that is responsible for the implementation of FMIS. This becomes even more relevant, since the systems become significantly more complex and combine many functions, which might unsettle farmers. The effect of the WTP and the economic efficiency is stronger for the intended use than for the actual use. This might be explained by the fact that, today, there are often free isolated solutions available which are mostly integrated as "nice gimmicks" into the daily business routine. Future systems, on the other hand, will become more complex and more costly, and farmers will look much more for their economic benefits, as the pressure on a more sophisticated agriculture is increasing. Moreover, if the benefits of the systems are not proven, farmers could be "smart" not using them, therefore the advantageousness of the systems should be further explored. As other studies have also mentioned [Ga17], mistrust of these systems and their providers is one of the key barriers to acceptance and data security issues should be communicated more strongly. While the current usage behaviour is most strongly determined by whether a farmer considers the systems to be suitable for his farm, the compatibility of these systems will be a more decisive factor for future users. Therefore,

the compatibility of FMIS applications with other systems should be optimized and communicated, especially for the conviction of potential users. The increase in the intensity of use with increasing age could be due to the low average age of the sample, which means that farmers in their mid-40s can already be regarded as older. However, farmers in this middle age group have already taken over farms and are beginning to convert them into a digital form. In accordance to Rogers' theory of diffusion [Ro03], actual users might be considered as "early adopters". In our digital age, we can expect that FMIS adoption will eventually reach the "early and late majority" of users. By reaching the majority, sociodemographic and farmographic differences will become smaller.

It can be stated that digital FMIS have a strong potential, especially in mobile applications via smartphone. To transform farmers from intended to actual users, the providers of FMIS should work on the barriers e.g. the economic efficiency and compatibility of the systems. In addition, farmers should be better informed about the potential applications and their practical use in order to increase their confidence in the use of FMIS.

References

- [Bü14] Bühl, A.: SPSS 22 Einführung in die moderne Datenanalyse. Hallbergmoos. Pearson Verlag, 2014.
- [EA15] IP-AGRI Focus Group Precision Farming, Final report November 2015, URL: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agrieip/files/eipagri_focus_group_on_precision_farming_final_report_2015.pdf, as of 02.10.2019.
- [Ga17] Gandorfer, M., Schleicher, S., Heuser, S., Pfeiffer, J., & Demmel, M.: Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung und ihre Herausforderungen. In Ackerbau-technische Lösungen für die Zukunft, 9, 2017.
- [HAF17] Hewage, P., Anderson, M., & Fang, H.: An Agile Farm Management Information System Framework for Precision Agriculture. In Proceedings of the 9th International Conference on Information Management and Engineering, 75-80, 2017.
- [K118] Kleffmann Group.: Wo stehen wir in der Digitalisierung?. In: Kleffmann Group Pressemitteilungen from 31.07.2018 URL: https://www.kleffmann.com/de/kleffmann-group/news--presse/pressemitteilungen/20180731_digitalisierung/ as of 12.09.2019.
- [MBM19] Michels, M., Bonke, V., & Mußhoff, O.: Understanding the adoption of crop protection smartphone apps: An application of the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (No. 1905). Diskussionsbeitrag, 2019.
- [Ro03] Rogers, E. M.: Diffusion of innovations (5. Aufl.). New York: Free Press, 2003.
- [Ts17] Tsiropoulos, Z.; Carli, G.; Pignatti, E.; Fountas, S.: Future Perspectives of Farm Management Information Systems. In: Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives, Hg. Pedersen, S.-M.; Lind, K.-M., Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, S. 181-200, 2017.
- [Wa17] Walter, A., Finger, R., Huber, R., & Buchmann, N.: Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(24), 6148-6150, 2017.

Teilflächenspezifische Düngung als Reaktion auf wachsende gesellschaftliche Anforderungen und als Beitrag zur Entspannung des Widerspruches zwischen Ökonomie und Ökologie

Johannes Speckle¹, Wolfgang Angermair¹, Franziska Brohmeyer², Lena Brüggemann²,
Andreas Spicker³ und Sebastian A. Pauli¹

Abstract: Wachsender gesellschaftlicher Druck und gesetzliche Restriktionen sowie steigende ökonomische Anforderungen stellen für landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland derzeit einen scheinbar nicht lösbaren Widerspruch dar. Ein Baustein, der zur Entspannung des Zielkonflikts zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit beitragen kann, ist die teilflächenspezifische Düngung. Der technologische Fortschritt in der Landtechnik, die Verbreitung hochverfügbarer Fernerkundungsdaten und Einbindung dieser in Pflanzenwachstumsmodelle und die Zusammenführung aller Teilsysteme in einem Farm-Management-System (FMIS) ermöglichen die Einführung der teilflächenspezifischen Düngung in der Praxis.

Keywords: Farm-Management-Systeme, Düngeverordnung, Teilflächenspezifische Düngung, Satellitenfernerkundung, Pflanzenwachstumsmodelle, Simulationsmodelle

1 Einleitung

Nach heutigem Kenntnisstand der Pflanzenernährung gibt es 16 Nährstoffe, unterteilt in Makro- und Mikronährstoffe, die für Pflanzen notwendig sind. Ist die Verfügbarkeit von einem Nährstoff eingeschränkt, treten Mangelsymptome auf. Ein Mangel an essentiellen Nährstoffen hat unmittelbare Auswirkung auf Wachstums- und Stoffwechselprozesse. Stickstoff ist essentiell für die Bildung von Aminosäuren und Nukleinsäuren. Somit ist Stickstoff ein wichtiger Baustein von Eiweißen, Enzymen und Chlorophyll. Vegetatives Wachstum, sowohl Längenwachstum als auch Biomassezuwachs, und enzymatisch katalysierte Reaktionen sind daher ohne Stickstoff nicht möglich. Neben Stickstoff nehmen auch Phosphor und Kalium eine essentielle Rolle in der Pflanzenernährung ein. Phosphor ist dabei vor allem beteiligt an der Bildung von Nukleinsäuren und als Baustein von Enzymen. Kalium ist funktionell entscheidend in vielen Stoffwechselfvorgängen (z. B.

¹ FarmFacts GmbH, Rennbahnstraße 9, D-84347 Pfarrkirchen, Johannes.Speckle@FarmFacts.de, sebastian.pauli@farmfacts.de, wolfgang.angermair@farmfacts.de

² VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, Gabelsbergerstraße 51, D-80333 München, brohmeyer@vista-geo.de, brueggemann@vista-geo.de

³ Betriebsleiter, andi.spicker@web.de

Osmose), für die Bildung und den Transport von Kohlehydraten und zur Aktivierung vieler Enzyme.

Eine Überversorgung vor allem mit Stickstoff und Phosphor kann jedoch zu erheblichen Auswirkungen auf Ökosysteme führen. Eine Nährstoffanreicherung in Oberflächengewässern (Eutrophierung) führt zu einem beschleunigten Algen- und Pflanzenwachstum an der Oberfläche dieser Gewässer und somit zu einer Verringerung der gesamten Biodiversität innerhalb des Gewässers. Die Verlagerung von Stickstoff in nicht durchwurzelbare Tiefen kann zur Verunreinigung von Grundwasser führen. Ein weiterer Verlustpfad von Stickstoff ist gasförmig als Lachgas (N_2O). Lachgas hat in etwa die 300-fache Wirkung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) in der Atmosphäre. Die Landwirtschaft hat somit die Aufgabe, die Pflanzenernährung mit einer möglichst effizienten Düngung sicherzustellen, um negative Umwelteinflüsse zu minimieren.

Für das Jahr 2010 hat die Bundesregierung in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2002 einen Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft von 80 Kilogramm pro Hektar und Jahr ($kg/ha*a$) im 3-Jahres-Mittel als Zielwert festgelegt. Laut Umweltbundesamt ist der Stickstoffüberschuss zwischen 1993 und 2015 von $111 kg/ha*a$ um 15 % auf $94 kg/ha*a$ im 5-Jahres-Mittel zurückgegangen. In der Fortschreibung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2016 wurde der Zielwert für das Jahr 2030 nochmals auf $70 kg/ha*a$ reduziert [Um19]. Die Novellierung der Düngeverordnung 2017 (DüV) zielt genau in diese Richtung. Die DüV gibt den Betrieben in Deutschland sehr klare Regeln zur Ermittlung des Stickstoff- und Phosphorbedarfes vor, die sich wesentlich an einem realistischen Durchschnittsertrag und Nährstoffbedarfswerten orientieren. Die Verteilung der Nährstoffe und Düngemittel innerhalb eines Schläges ist dabei jedoch nicht geregelt [Ve17]. Die von der EU geforderte erneute Anpassung der Düngeverordnung zeigt, dass die bisher gewählten Methoden offenbar als nicht ausreichend angesehen werden [Pr19]. Diese Arbeit stellt das Prinzip der teilflächenspezifischen Düngung vor und zeigt die Möglichkeiten auf, mit Hilfe dieser ökologische und ökonomische Ziele der Düngung zu vereinbaren.

2 Material und Methoden

2.1 Stickstoffbedarfsermittlung

In dieser Arbeit wurde für mehrere Schläge ($n=11$, 102 ha) in Deutschland vor der ersten Stickstoffgabe im Frühjahr eine Düngbedarfsermittlung nach DüV und landesspezifischen Ergänzungen im FMIS NEXT Farming LIVE gerechnet. Der realistische Zieldertrag, Nmin-Wert, Bodenart, Vorfrucht, organische Düngung des Vorjahres und Humusgehalt wurden vom Landwirt schlagspezifisch vorgegeben. Die relevanten Berechnungsparameter (Stickstoffbedarf bei Referenzertrag, Zu- und Abschläge) sind nach Vorgabe der landesrechtlich zuständigen Stellen – meist die

Landwirtschaftskammern, Landesämter – in den Datenbanken der Softwaresysteme hinterlegt. Somit ist sichergestellt, dass der Landwirt die Anforderungen nach DüV innerhalb seines FMIS erfüllen kann und keine doppelten Eingaben in ein Portal der Landesbehörden benötigt werden. Im Projekt wurden 3 Schläge in Niedersachsen (63 ha) und 8 Schläge in Bayern (39 ha) mit den Ernteprodukten Silomais (n=3, 63 ha), Winterweizen (n=2, 12 ha), Körnermais (n=2, 13 ha) und Zuckerrübe (n=4, 14 ha) gerechnet.

2.2 Langjährige Satellitendaten

Zur Erkennung der Heterogenität der Biomasseaufwüches innerhalb der Schläge wurde die TF-Basiskarte und die darauf aufbauenden TF-Ertragspotenzialkarte von VISTA verwendet. Für die TF-Basiskarte werden mit Hilfe von Satellitendaten (Sentinel-2) langjährig beständige Aufwuchsmuster identifiziert und deren Biomasseunterschiede zueinander berechnet [TA19]. Aufbauend darauf kann mit dem Pflanzenwachstumsmodell PROMET das langjährige Ertragspotenzial in t/ha berechnet werden [HBM15].

2.3 Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Beim Mapping-Ansatz erfolgt die Variation der Betriebsmittelverteilung anhand historischer Aufzeichnungen, etwa Ertragskartierung mit dem Mähdrescher oder der Auswertung optischer Informationen aus Drohnen- und Satellitenaufnahmen. Ein Werkzeug dafür ist der von FarmFacts und VISTA seit 2017 entwickelte N-Manager, der bereits 2018 und 2019 in Pilotbetrieben eingesetzt wurde. Der ermittelte schlagspezifische Stickstoffdüngbedarf wurde auf Grundlage des Ertragspotenzials aus Fernerkundungsdaten innerhalb des Feldes variiert. Das Ertragspotenzial wird mit Hilfe von Satellitendaten (Sentinel-2) und dem Pflanzenwachstumsmodell PROMET bestimmt und identifiziert gleichzeitig langjährige Aufwuchsmuster innerhalb eines Feldes [BM16]. Diese Information ermöglicht die Verteilung der Stickstoffmenge innerhalb des Feldes, wodurch in Niedrigertragszonen Stickstoff eingespart werden kann, Hohertragszonen aber dennoch ausreichend versorgt werden. Die Erstellung einer Applikationskarte zur Variation des gesamten Stickstoffbedarfes ist in der Praxis nicht sinnvoll. Es wird ein System benötigt, welches nicht variable Stickstoffgaben berücksichtigt (z. B. Gülle). Mit dem N-Manager können somit auch Applikationskarten für einzelne Düngegaben gerechnet werden und nicht variable Gaben korrekt berücksichtigt werden. Für Fruchtarten, bei denen der Stickstoffdüngbedarf sehr früh in der Vegetationsperiode mit einer Stickstoffgabe gedeckt wird, erfolgt die Erstellung der N-Applikationskarten rein mit dem N-Manager. Auch für Fruchtarten, bei denen die Stickstoffdüngung zur Steuerung des Aufwuchses in mehreren Gaben erfolgt (z. B. Weizen), kann mit dem N-Manager die Applikationskarte für die erste Stickstoffkarte erstellt werden. N-Manager liefert einen Satz an Stickstoffbedarfskarten für die jeweiligen Einzelgaben. Die Stickstoffbedarfskarten können im FMIS mit den Nährstoffgehalten der Düngemittel

verrechnet werden und somit eine Dünger-Applikationskarte in den Formaten ISOXML oder Shape lesbar für die gängigen Bordcomputer erstellt werden. Mit N-Manager PRO wird für Fruchtarten, bei denen die Stickstoffdüngung zur Steuerung des Aufwuchses in mehreren Gaben erfolgt (z. B. Weizen), zusätzlich zu N-Manager im Vegetationsverlauf die aktuelle Stickstoffaufnahme in kg/ha aus Satellitendaten bestimmt. Auf Grundlage der aktuellen Entwicklung der Pflanzen wird der Stickstoffbedarf für jede Stickstoffgabe angepasst und räumlich variiert. Tage ohne Satellitenaufnahme oder Zeiträume mit Wolkenbedeckung können mit Hilfe des Pflanzenwachstumsmodells PROMET überbrückt werden. Mit der Simulation können zudem Tage ohne neue Satellitendaten überbrückt werden. Mit der Simulation können damit auch Perioden, in denen aufgrund von Verschattung durch z. B. Wolken keine Satellitenauswertung möglich ist, überbrückt werden. So kann mit N-Manager PRO für jede Stickstoffgabe eine teilflächenspezifische (10 x 10 m) Stickstoffbedarfskarte geliefert werden [Bo19].

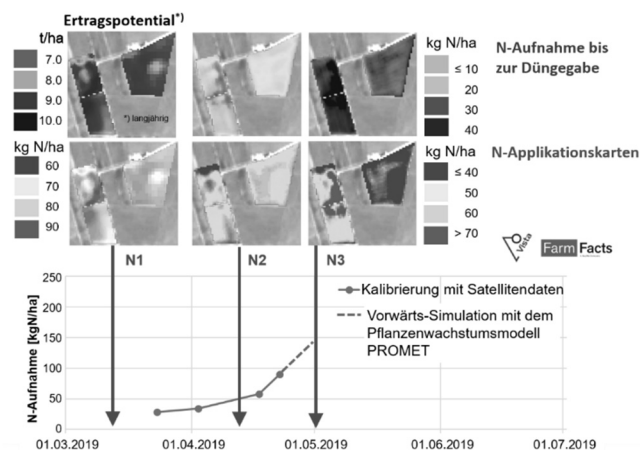


Abb. 1: Simulation der N-Aufnahme und resultierende N-Bedarfskarte mit N-Manager PRO

2.4 Zonierung der Schläge anhand beständiger Aufwuchsmuster

Für die vorliegende Studie wurde mit Hilfe der TF-Basiskarte die Zonierung innerhalb der Schläge vorgenommen. Die Ergebnisse einer homogenen Düngedarfsermittlung wurden dann den jeweiligen Ergebnissen aus der zonenspezifischen Betrachtung im N-Manager gegenübergestellt. Hierfür wurden Zonen mit einem N-Bedarfswert mit einer maximalen Abweichung von 10 % gegenüber dem Flächenmittel als bedarfsdeckend angenommen. Für Zonen mit N-Bedarfswerten unterhalb des durchschnittlichen N-Bedarfes nach DüV wurde eine reduzierte N-Menge nach N-Manager empfohlen. Für Zonen mit N-Bedarfswerten über dem durchschnittlichen N-Bedarf nach DüV wurde mit N-Manager eine überdurchschnittliche N-Menge empfohlen. Im Durchschnitt ergibt sich der N-Düngebedarf nach DüV.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Einteilung der Schläge (n=11, 102 ha) in teilflächenspezifische Zonen und die Gegenüberstellung zum Bedarfsmittelwert nach DüV zeigt, dass es in 33 % der Teilflächen bei einer angenommenen einheitlichen, konstanten Düngung nach den Vorgaben der Düngeverordnung zu einer Überversorgung von Niedrigertragszonen kommt. Auf ca. 42 % der Teilflächen führt eine konstante Düngung zu einer Unterversorgung von Zonen überdurchschnittlicher Erträge. Die Gefahr von Nährstoffverlusten bleibt in den Niedrigertragszonen somit weiterhin bestehen. In Hohertragszonen kann dagegen bei konstanter Düngung des Düngedarfes nach DüV der volle Ertrag nicht ernährt werden. Es besteht die Gefahr, dass zunächst der in Humus gebundene Stickstoff abgebaut wird und langfristig ein Verlust an Ertrag und Qualität stattfindet. Auswertungen belegen, dass es selbst innerhalb sehr kleiner Flächen eine große Variabilität des Ertragspotenzials und damit des Düngedarfs geben kann [RR19]. Basis eines nachhaltigen Düngeystems ist daher die Kenntnis über die kleinräumige Heterogenität des Bodens, der Verlagerung von Nährstoffen und der Aufwüchse innerhalb eines Schlags. Der Zielkonflikt zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit lässt sich durch Einsatz von Daten aus der Fern- und Naherkundung in Verbindung mit intelligenten Technologien der Prozessierung dieser Daten und anschließender Umsetzung auf dem Acker besser lösen als mit pauschalen Abschlägen in sogenannten roten Gebieten.

Unter DüV N-Bedarf [%]	DüV N-Bedarf gedeckt [%]	über DüV N-Bedarf [%]	Schlaggröße [ha]
33	18	48	2
39	30	32	11
40	23	37	8
32	22	47	3
44	26	31	3
36	22	42	4
25	29	46	5
34	44	22	3
22	28	50	31
24	23	53	8
32	17	51	24

Tab. 1: Aufteilung der Flächenanteile in N-Manager

4 Fazit

Das Prinzip der teilflächenspezifischen Düngung wurde innerhalb der FarmFacts und VISTA in den Jahren 2018 und 2019 bereits von verschiedenen Pilotbetrieben in Deutschland erfolgreich angewandt. In der weiteren Entwicklung werden die Algorithmen derzeit in die Softwareprodukte der FarmFacts eingebunden. Somit kann der Anwender diese Funktion in Zukunft direkt aus seinem FMIS ansprechen. Derzeit ist in der Praxis eine erhebliche Unsicherheit gegenüber Systemen zur teilflächenspezifischen Düngung und deren DüV-Konformität erkennbar. In der fachlichen Diskussion mit Praktikern ist die Notwendigkeit der teilflächenspezifischen Düngung weitestgehend Konsens. Um eine breite Akzeptanz und Etablierung dieser Technologie in der Ausbildung und Praxis herzustellen, sollte eine Prüfung und Gegenüberstellung dieses Ansatzes an wissenschaftlichen Versuchsanstalten durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

- [HBM15] Hank, T.; Bach, H.; Mauser, W. (2015): Using a Remote Sensing-Supported Hydro-Agroecological Model for Field-Scale Simulation of Heterogeneous Crop Growth and Yield: Application for Wheat in Central Europe, *Remote Sensing*, 7 (4), 3934-3965, Basel (Switzerland), 2015.
- [Bo19] Bosch, J.: Stickstoff-Düngung in Zeiten der Düngeverordnung. In: *Getreidemagazin* 05/2019 (ISSN: 2191-5172), S. 62-64, 2019.
- [Ve17] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV), 2017.
- [Bu19] Pressemitteilung Nr. 161 vom 25.07.2019; Nitratrichtlinie: Deutschland erhält Mahnschreiben; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- [Um19] Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de>, Stand 04.11.2019.
- [Ta19] Talkingfields, <http://www.talkingfields.de>, Stand 06.11.2019.
- [RR19] Reckleben, Y.; Ramm, S.: Sensor- und satellitengestützte Stickstoffdüngung – Ein Weg zu mehr N-Effizienz? In: *Getreidemagazin* 01/2019 (ISSN: 2191-5172), 2019.

Does e-government contribute to a reduction of farmers' administrative burden in Switzerland

Andrei Stoinescu¹, Linda Reissig¹ and Gabriele Mack¹

Abstract: Since the shift to direct payments and the growing environmental regulations, the administrative costs for farmers and public administration have increased. The introduction of e-government changed the farmers' working conditions. For this study, we examined how variables such as the 'perceived organizational benefits', 'organizational characteristics', 'organizational usage characteristics' and 'perceived characteristics' influence the administrative burden of Swiss farmers when using e-government. A quantitative survey, as well as qualitative open statements and in-depth interviews were analyzed for this purpose. We found that due to the transition from paper to electronic forms, the administrative workload of about one third of the farmers decreased. Attitude and the skills of the farmers seem to influence the administrative burden the strongest.

Keywords: administration, workload, administrative burden, agriculture, e-government

1 Introduction

Since the shift in agricultural policy from price support to direct payments and the growing number of environmental regulations, both private administrative costs for farmers and public administration costs increased [Fa00; FS02; Mc05; Ro07; MVV09; Mc09]. In the last ten years, many European countries introduced e-government to handle administrative processes between public authorities and farmers such as contracting of agri-environmental programs, monitoring of cross-compliance standards and detection of non-complying farms as well as prosecution and enforcement of farms in an effective way.

The introduction of e-government changed the farmers' working environment with public authorities. It implies that they have to use solely electronic forms for the application of direct payments.

This study analyses (1) how e-government is designed for the application of direct payments in Switzerland, (2) whether the implementation of e-government contributed to a reduction of the farmers' administrative burden and (3) how e-government should be implemented and organized that it reduces the farmers' administrative burden.

Research in the field of e-government has increased significantly during the last years. Studies on the risks of e-government for the society have analyzed the so-called 'digital divide', indicating that older people and/or rural communities are prone to being left behind due to their lack of skills and motivation when introducing e-governmental services

¹ Agroscope, Forschungsgruppe Sozioökonomie, Tänikon 1, 8356 Ettenhausen, Schweiz;
andrei.stoinescu@agroscope.admin.ch,
linda.reissig@agroscope.admin.ch, gabriele.mack@agroscope.admin.ch

[Hh17]. [Ar04] investigated the effectiveness of e-government to reduce the administrative workload in commercial businesses. Their findings were ambiguous, though, stating that no clear positive nor negative answer could be given to their research question. The overall perception of the realized reduction of the administrative burden is less positive than expected, but the organizations' attitude and the ICT staff are shown to be dominant factors [Ar04]. So far, there seems to be a considerable gap of research investigating the use and the effects of e-government on the administrative workload in the agricultural sector.

2 Framework

Electronic government, or shortly 'e-government', can be defined as the employment of digital information technology allowing the implementation and support of processes for informing, communicating and transacting between governmental institutions and the state's citizens [Ar04]. For example, farmers have to implement their land parcels in a geographical information system (GIS) for becoming eligible for direct payments in Switzerland.

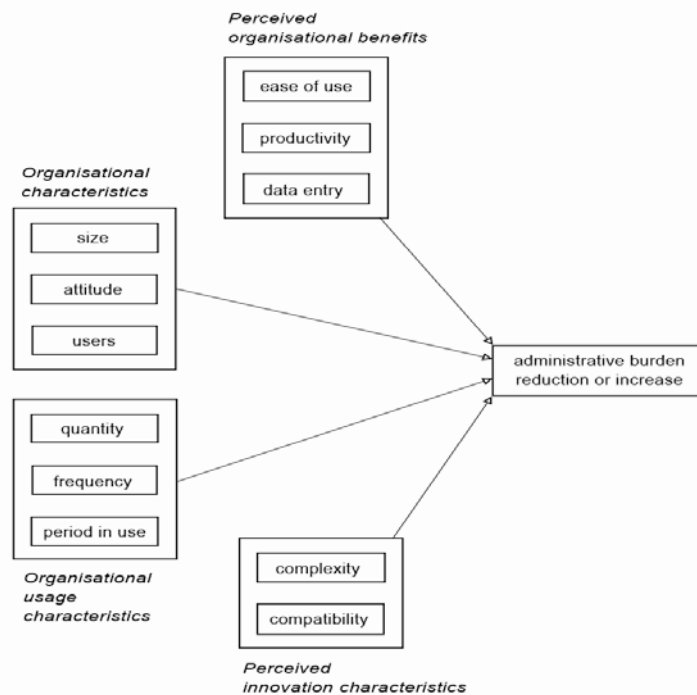


Fig. 1: Conceptual research model by [Ar04] adapted for examining the influence of e-government on the administrative burden of farmers in Switzerland

For analyzing factors in the context of E-government that might influence the farmers' administrative burden, we adopted the conceptual research model by [Ar04]. For this study we examine whether variables such as the 'perceived organizational benefits', 'organizational characteristics', 'organizational usage characteristics' and 'perceived innovation characteristics' influence the administrative burden of Swiss farmers when using e-government. Because the applied conceptual model was not developed for e-government applications in agriculture, we focused in our qualitative research on additional factors that might be relevant for farmers.

3 Material and methods

In the beginning of 2019, a survey on the farmers' perceived administrative workload was carried out in Switzerland [MSH19]. In total, 2000 randomly chosen farmers received a written questionnaire via postal mail. The survey included questions regarding the administrative workload due to the use of e-government. Additionally, participants had the possibility to make open statements on their administrative workload in general. The response rate was 40%. For answering our research questions, we analyzed not only this data but also carried out in-depth interviews with experts on e-government and farmers.

3.1 Quantitative analysis

This analysis intends to assess how the implementation of e-government affected the farmers' administrative workload. Therefore, farmers were asked to rate on a Likert scale the question "How did your administrative workload change due to the transition from paper to electronic application forms?". A seven-point Likert scale from -3: substantially reduced to 3: substantially increased was used. In total, 795 responses were analysed descriptively.

3.2 Open statements

Overall, 240 respondents made an open-ended statement. The written statements were coded using thematic analysis based on [BC06] and categorized into two groups: content resp. discontent with e-government. The 10 statements expressing satisfied feedback and the 22 statements with discontented feedback were evaluated.

3.3 Interviews

Ten interviews were conducted. They were transcribed and coded for identifying the underlying common themes.

Semi-structured expert interviews: five semi-structured interviews were conducted in order to get a better understanding how e-government is designed in Switzerland. Five agricultural researchers resp. advisors concerned with e-government were interviewed.

In-depth interviews with farmers who made an open statement: based on our framework, an interview guideline was developed. It comprised questions about the farm structure, the use of e-government, characteristics of e-government as well as its effect on the administrative workload of the farmers. Five in-depth interviews were conducted.

4 Results

4.1 Quantitative analysis

Due to the transition from written to electronic forms, the administrative workload of 40 % of the respondents increased (1 to 3 point on the Likert scale). 25 % of the participants did not recognize any change in the administrative workload (0 point on the Likert scale), whereas about one third of the respondents rated that their workload decreased (-1 to -3 point on the Likert scale). We find a Pearson correlation of 0.377 between the change in workload due to e-government and the overall perceived administrative burden.

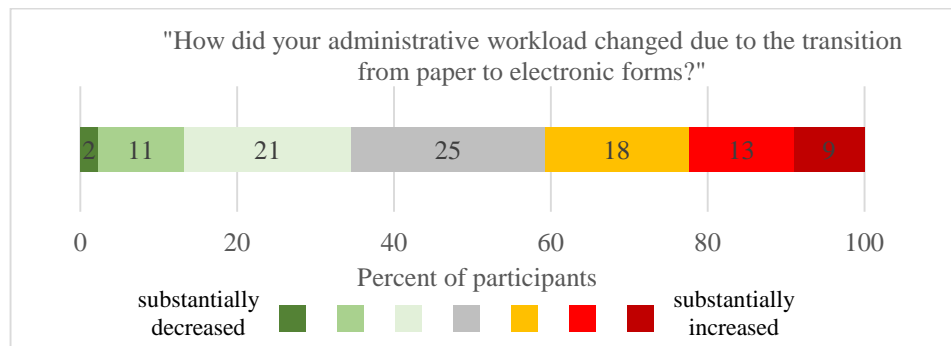


Fig. 2: Change of the administrative workload due to the transition from written to electronic forms

4.2 Open statements

We selected a few open statements made by the farmers in the context of e-government:

Content with e-government

- “The only administrative simplifications on our farm during the last 10 years were the electronic forms.”

- "I record the cross-compliance data for more than 5 years electronically with the Agro-Plus program and this simplifies the calculation of the nutrient balance."
- "For me, the administrative workload is justifiable. Recordings serve to fair controls and if somebody intends on doing something for which one needs a recording, he or she will think twice if one really wants to do it or not."

Discontent with e-government

- "For reducing the administrative workload, it requires one app where you should be able to keep all the records and which everything is connected with. For instance, when I record the slurry with a trailing hose for a parcel of land in my field calendar then this should also be already recorded for the direct payment's report. There are 1000 other things which could be connected to each other in this way."
- "With a recording obligation I await from the same administrative body that a software or apps are available so that we can deal with the recordings rapidly and efficiently. I also dislike redundancies due to improper conjunctions. For example Barto, TVD, IP Suisse, tractors."
- "Yearly declarations for land and crops: Ever since it needs to be done with the computer, I need approx. three times the time I needed in the past."

Many statements show that a better linkage of the different software packages and electronic forms or the creation of a single application could reduce the administrative workload. Moreover, some respondents stated that their administrative workload increased due to e-government, some of them indicating that the digital administration is a mixed blessing: their administration works more fluently when done digitally, but at the same time increases in its overall amount, leading to an unchanged or sometimes even higher workload. Nevertheless, there were a number of positive statements regarding e-government, too, stating a relief on their administrative workload.

4.3 Interviews

At this point of our research, five semi-structured expert interviews as well as six in-depth interviews were conducted, but not yet coded nor analyzed in detail. Therefore, only preliminary conclusions can be made. However, first results show that some factors of the framework's model might have a greater impact than others. On the one hand, the 'perceived innovation' characteristics seem to be much more important than the 'perceived organizational benefits': farmers favor a clear and simple user interface for the web application ('complexity') and dislike duplications in their administration ('compatibility'). Meanwhile, e-government might not increase the 'ease of use', 'productivity' or even facilitating the 'data entry' process by just moving the administration to the digital format. On the other hand, it seems that 'organizational characteristics' and 'organizational usage characteristics' are both of moderate influence. Most prominent are the 'attitude' and the skills of the 'user' in determining in what way a

farmer is able to execute his or her administrative tasks. 'Frequency' also seems to be decisive for which tasks are handled with more or less ease: daily or weekly recordings have become habitual for most farmers, while the yearly application for the direct payments or other infrequent duties produce more problems and difficulties.

In summary, it can be said on the basis of our current evaluation status that e-governance reduces the administrative effort when both the attitudes and skills of farmers reach a certain threshold and, at the same time, e-government design reaches a certain threshold of comprehensibility and user-friendliness.

References

- [Ar14] Arendsen, R.; Peters, O.; Hedde, M.; van Dijk, J.: Does e-government reduce the administrative burden of businesses? An assessment of business-to-government systems usage in the Netherlands. *Government Information Quarterly* 31/1, 160-169, 2014.
- [BV06] Braun, V.; Clarke, V.: Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology* 3, 77-101, 2006.
- [Fa00] Falconer, K.: Farm-level constraints on agri-environmental scheme participation: a transactional perspective. *Journal of Rural Studies* 16, 379-394, 2000.
- [FS02] Falconer, K.; Saunders, C.: Transaction costs for SSSIs and policy design. *Land Use Policy* 19, 157-166, 2002.
- [Hh17] Hodge, H.; Carson, D.; Carson, D.; Newman, L.; Garrett, J.: Using internet technologies in rural communities to access services: The views of older people and service providers. *Journal of Rural Studies* 54, 469-478, 2007.
- [HKG07] Horst, M.; Kuttschreuter, M.; Gutteling, J.M.: Perceived usefulness, personal experiences, risk perception and trust as determinants of adoption of e-government services in the Netherlands. *Computers in Human Behavior* 23/4, 1838-1852, 2007.
- [MSH19] Mack, G.; Stoinescu, A.; Heitkämper K.: Zur Wahrnehmung des administrativen Aufwandes. *Agroscope Science* 92, 2019.
- [Mc05] McCann, L.; Colby, B.; Easter, K.W.; Kasterine, A.; Kuperan, K.V.: Transaction cost measurement for evaluating environmental policies. *Ecological Economics* 52, 527-542, 2005.
- [Mc09] McCann, L.: Transaction costs of environmental policies and returns to scale: the case of comprehensive nutrient management plans. *Review of Agricultural Economics* 31, 561-573, 2009.
- [MVB09] Mettepenningen, E.; Verspecht, A.; Van Huylbroeck, G.: Measuring private transaction costs of European agri-environmental schemes. *Journal of Environmental Planning and Management* 52, 649-667, 2009.
- [RVK07] Rorstad, P.K.; Vatn, A.; Kvakkestad, V.: Why do transaction costs of agricultural policies vary? *Agricultural Economics* 36, 1-11, 2007.
- [Sj07] Scholl, J.: E-Government: Aufbruch zu neuen wissenschaftlichen Ufern oder nur eine Modeerscheinung? *Verwaltung und Management* 13/1, 35-43, 2007.

Entwicklung und Validierung einer belastungsabhängigen Positionskorrektur eines Heukrans

Franz Stübler¹, Florian Kitzler¹, Martin Seiringer¹, Johannes Landrighinger²,
Andreas Gronauer¹ und Norbert Barta¹

Abstract: In der Automatisierung einer Stückgutmanipulation in der Biomasselogistik müssen Konzepte umgesetzt werden, welche eine hohe Positionsgenauigkeit für die Materialaufnahme und -abgabe gewährleisten. Diese müssen das Strukturverhalten und die Belastungssituation der Manipulatoren berücksichtigen. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Modellansatz entwickelt, welcher auf Basis der Messungen der Auslegerlänge, des Auslegerwinkels und der Hubzylinderlänge einen Positionskorrekturfaktor errechnet. Mit dem Modellansatz konnten Positionierungsfehler durch die Starrkörperkinematik im Median von 187 mm auf 7 bis 8 mm reduziert werden. Bei maximalen Belastungen konnten Abweichungen von 244 mm auf 22 mm reduziert werden.

Keywords: Positionskorrekturmodell, Gewichtsmessung, Robotik, Stückgutmanipulation

1 Einleitung

In der Stückgutmanipulation mit Robotern spielt für die Präzision von Greif- und Absetzvorgängen das Verformungsverhalten eine wesentliche Rolle. Eine relative Positionskorrektur kann mit Kamera oder Lasersystemen erfolgen, was jedoch hohe Rechenleistungen erfordert bzw. die Arbeitsgeschwindigkeit senkt. Um ohne ein Feedbacksystem die Genauigkeit zu erhöhen, werden basierend auf dem elastischen Verhalten des Roboters statische Positionskorrekturmodelle eingesetzt [HSC08]. Bei der Automatisierung von hydraulischen Kränen zur Handhabung von Biomasse müssen im Gegensatz zu Roboterlösungen aus der Industrie weite Wegstrecken überwunden und ein großes Arbeitsfeld bedient werden. Aufgrund der begrenzten Einbausituation in bestehende Infrastrukturen werden Fahrwerksysteme mit Teleskopausleger basierend auf Schweißkonstruktionen verwendet, welche ein weiches Strukturverhalten bedingen und somit die Positionierung erschweren. Diese Fragestellungen wurden bereits für Betonpumpen behandelt [SV96; HKK13]. Die Belastung bei Betonpumpen erfolgt in der Anwendung hauptsächlich durch das Eigengewicht, womit ein Modellansatz mit Hilfe von Mehrkörpersystemen (MKS) verwendet wurde.

In der Biomasselogistik erfolgt die Hauptbelastung auf Basis der transportierten Masse. Dies macht es erforderlich, geeignete Messsysteme für diese Größe in Korrekturkonzepten

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landtechnik, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich, franz.stuebler@boku.ac.at, florian.kitzler@boku.ac.at, martin.seiringer@boku.ac.at, norbert.barta@boku.ac.at
² Lasco Heutechnik GesmbH, Lascostraße 1, 4891 Pöndorf, jlandrighingerj@lasco.at

zu integrieren. Zusätzlich sind die verwendeten Gleitlager einem Verschleiß unterworfen, was eine Änderung des Systemverhaltens mit der Zeit bedingen kann. Auch die unterschiedlichen Einbausituationen, unterschiedliche Krantypen und die Lagerung der Kranträger würde eine Modellierung mit MKS für jedes Projekt erforderlich machen. Um trotzdem bei der automatisierten Handhabung von Stückgütern wie Heuballen eine ausreichende Genauigkeit des Tool Center Points (TCP) zu erzielen, sollen in dieser Arbeit messdatenbasierte Modellansätze für eine Positionskorrektur entwickelt werden, welche in automatischen Kalibrierverfahren regelmäßig adaptiert werden können, um eine von der Zeit und der Einbausituation unabhängige statische Positionskorrektur umsetzen zu können.

2 Material und Methode

In der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Korrekturmodelle für einen Heukran vom Typ M45 (LASCO Heutechnik GmbH, Österreich, Lochen am See) entwickelt und evaluiert. Ausgangslage ist ein kinematisches Starrkörpermodell des Kranes (K0), das auf Basis der Messung von Hubzylinderlänge und Auslegerwinkel die Position des TCP des Greifers berechnet. Für einen Ausgleich der Verformungen wurden zusätzlich zwei Neigungssensoren an der Basis des Auslegers und Endeffektor integriert (siehe Abb. 1 links), um eine Verformungskorrektur zu berechnen. Dafür wurden drei unterschiedliche Modellansätze untersucht. Korrektur K1 enthält eine lineare Winkelkorrektur über die Neigung der Basis über die Auslegerlänge. Korrektur K2 verwendet einen Durchbiegungsterm abhängig von der Länge des Auslegers und dem Differenzwinkel zwischen Endeffektor und Basis. Korrektur K3 verwendet nur den Neigungssensor an der Basis in Kombination mit einem quadratischen Durchbiegungsansatz abhängig von der Auslegerlänge.

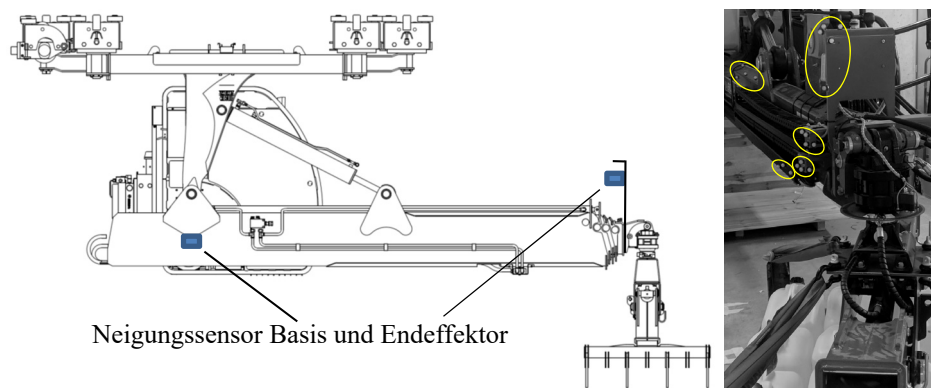


Abb. 1: Modell des Heukrans in der Seitenansicht mit Positionen der Neigungssensoren (links, Quelle: LASCO GmbH) und Position der Reflexionsmarker an den Auslegerelementen (rechts)

Als Referenzsystem für die Validierung der Positionskorrektur diente das Objekt Tracking System Vantage V5 (Vicon Motion Systems Ltd, England), das aus 8 hochauflösenden aktiven Infrarotkameras besteht und mit Reflexionsmarkern (siehe Abb. 1 rechts) versehene Objekte in Echtzeit verfolgt. Die Gelenksdaten der am Kran montierten Sensoren wurden über einen OPC-Server auf der Steuerungs-SPS des Krans bereitgestellt. Eine selbst entwickelte MATLAB-Applikation verwaltet die Referenz- und OPC-Datenströme und speichert die Daten strukturiert und synchronisiert zur weiteren Auswertung ab. Die Belastung des Krans erfolgte über bis zu 16 Wasserkanister mit je 20 kg Gewicht. Die Messungen wurden im Labor der Universität für Bodenkultur durchgeführt.

2.1 Positionsabweichung der L1-Norm bei unterschiedlichen Korrekturtermen

Zur Parametrierung der Modelle wurden Kalibrationsmessungen durchgeführt. Dazu wurde der Kran ohne und mit voller Belastung in vorgegebene Stellungen gebracht und die tatsächliche Position des TCP bestimmt. Dafür wurden je zwei Messreihen für zwei Auslegerwinkel (Hubzylinderlängen 1440 mm und 1360 mm) durchgeführt. Jede Messreihe bestand aus vier unterschiedlichen Auslegerlängen (2845 mm, 4995 mm, 6095 mm und 7150 mm) welche vierfach wiederholt wurden. Auf Basis der parametrisierten Regressionsmodelle wurden in der SPS ein Höhenversatz berechnet und in die Sollwertvorgabe der Regelung berücksichtigt. Für die Validierung wurden 20 Messreihen mit vier Hubzylinderpositionen (1360 mm, 1387 mm, 1413 mm und 1440 mm) und fünf Auslegerlängen (2850 mm, 3295 mm, 5000 mm, 6075 mm, und 7150 mm) und vier Belastungsstufen (0 kg, 100 kg, 200 kg und 320 kg) durchgeführt. Jede Messreihe bestand aus je vier Wiederholungen für die drei Varianten (K0, K2 und K3). Die tatsächlichen Positionen wurden wiederum mit dem VICON Bewegungsanalysesystem bestimmt. Als Maß für die Güte des Modells wurde der Median der L1-Norm der Fehler bzw. der höchsten 5 %-Fehler der Messwerte verwendet.

2.2 Gewichtsmessung auf Basis der Kransensordaten

Der Differenzwinkel zwischen dem Winkelsensor an der Basis und dem über den Hubzylinder gemessenen Winkel des Auslegers beinhaltet auch Informationen über die Verformung und somit die Belastung des Kransystems. Eine Kalibrierung des Messsystems wurde auf Basis der Daten des Validierungsversuches herangezogen. Der Datensatz besteht somit aus 16 Messungen für jede der 20 Positionen, da pro Position vierfach angefahren für jeden der vier Korrekturterme K0, K1, K2 und K3. Die Kalibrierung erfolgte mit einer linearen Regression auf Basis der Differenzwinkel auf die Belastung für jede gemessene Auslegerlänge und einer quadratischen Regression des gesamten Datensatzes auf Basis der Winkelmessung in Kombination mit der Auslegerlänge über das Belastungsgewicht.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Positionsabweichung der L1-Norm bei unterschiedlichen Korrekturtermen

Die Ergebnisse der unkorrelierten Starrkörperkinematik zeigten eine starke Abhängigkeit von der Auslegerlänge (siehe Abb. 2 links). Während bei eingefahrenen Auslegerlängen kein relevanter Positionsfehler auftritt, ist bei voller Auslegerlänge eine Abweichung im Median der L1-Norm von 187 mm mit den 5 % bei 244 mm zu beobachten. Messungen an einem Kran vom Typ M90 (LASCO Heutechnik GmbH) mit einer Auslegerlänge von bis zu 14 m wiesen maximale Verformungen in der Größenordnung von 60-70 cm auf [HH18].

Während K1 noch einen deutlichen Belastungseinfluss aufweist, können mit den Korrekturmodellen K2 und K3 deutliche Verbesserungen erzielt werden (siehe Abb. 2 rechts). So verringert das Modell K2 den L1-Fehler im Median von 81 mm auf nur noch 7 mm (Fehler Top 5 % = 22 mm) und das Modell K2 auf 8 mm (Fehler Top 5 % = 29 mm).

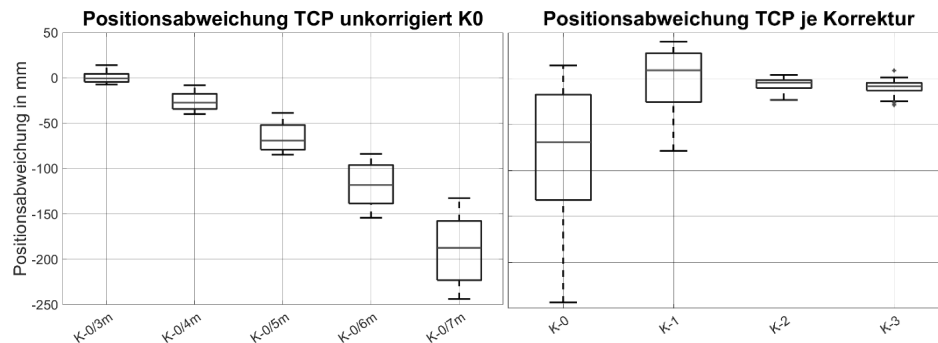


Abb. 2: Abweichung der L1-Norm für die mit der Starrkörperkinematik K0 berechnete Position zur tatsächlichen Position abhängig von der Auslegerlänge für vier Belastungsstufen mit $n=4$ (links) und Vergleich der L1-Norm der Positionsabweichungen für die Korrekturmodelle K0, K1, K2 und K3 in vier Belastungsstufen und fünf Auslegerpositionen mit je $n=4$ (rechts)

Ein Vergleich K2 und K3 zeigt qualitativ keine relevanten Unterschiede (siehe Abb. 3). Während Modell K2 bei eingefahrenem Ausleger im Median eine Abweichung von nahezu 0 mm aufweist, ist bei dem Modell K3 bereits ein kleiner Offset von 4 mm zu erkennen. Bei voller Auslegerlänge schneidet das Modell K3 dafür im Median mit einer Abweichung von 9 mm besser ab als Modell K2 mit 13 mm, wobei bei Modell K3 eine höhere Streuung aufgrund der Gewichtsbelastung auftritt.

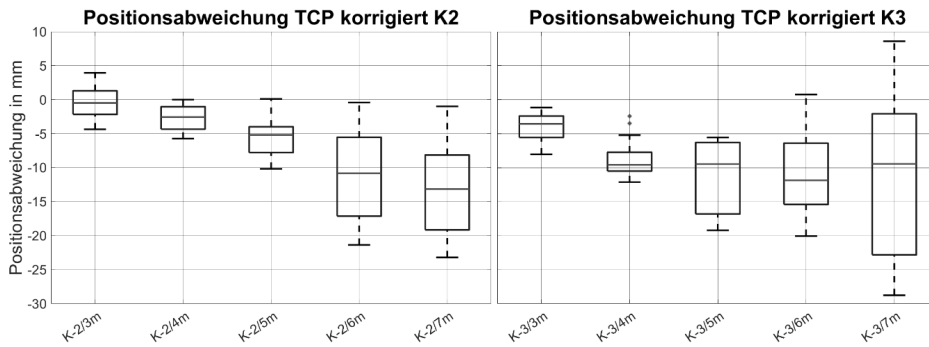


Abb. 3: Vergleich des Positionsfehlers der L1-Norm für das Korrekturmodell K2 (links) mit dem Korrekturmodell K3 (rechts) abhängig von der Auslegerlänge mit vier Belastungsstufen und $n=4$.

Für die gemessenen Lagen eignen sich nach unserer Analyse die beiden Korrekturmodelle K2 und K3 gleichermaßen, um eine nötige Genauigkeit im Automatikbetrieb des Krans zu erreichen. Da das Korrekturmodell K3 nur einen Neigungssensor an der Basis des Auslegers verwendet und somit Anschaffungskosten und Verkabelungsaufwand reduziert sind, wird dabei K3 bevorzugt.

3.2 Gewichtsmessung auf Basis der Kransensordaten

Die Ergebnisse der Gewichtsmessung sind in Abb. 4 dargestellt. Die relative Genauigkeit steigt dabei mit der Auslegerlänge. Während bei einer Auslegerlänge von 2850 mm ein Standardfehler (Root Mean Square Error – RMSE) von 25,3 kg (7,9 % des Messbereichsendwert ME) mit einem R^2 von 0,955 erreicht wird, liegt der RMSE bei voller Auslegerlänge von 7150 mm bei 14,1 kg (4,4% des ME) mit einem R^2 von 0,986 (siehe Abb. 4 links). Die 5 % und 95 %-Perzentile liegen bei kurzer Auslegerlänge bei -36,4 kg und 50,5 kg und bei langer bei -20,2 kg und 27,4 kg.

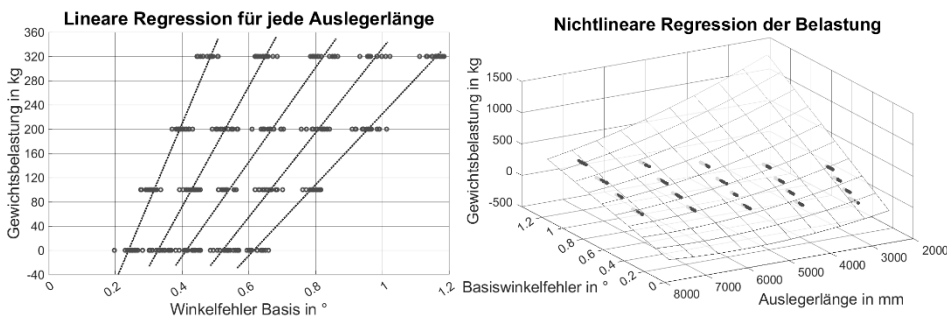


Abb. 4: Ergebnisse der Regressionen der Kranbelastung mit einem linearen Ansatz über die Winkelmessung je Auslegerlänge (links) und einen quadratischen über die Winkelmessung kombiniert mit der Auslegerlänge

Die quadratische Regression über die gesamte Messebene von Basiswinkel und Auslegerlänge liefert einen Standardfehler (RSME) von 21,0 kg (6,6% von ME – Abb. 4 rechts).

4 Conclusio und Ausblick

Die Positionskorrektur liefert für die Anwendung in der Biomasselogistik eine ausreichende Genauigkeit. Die Gewichtsmessung liefert gute Ergebnisse nur bei ausgefahrenem Ausleger. Die Winkelmessung bietet jedoch einen einfachen Ansatz für eine Biomasseabschätzung. Die Zuverlässigkeit muss noch unter Praxisbedingungen evaluiert werden. Die Daten stammen aus einem Laborversuch bei nur kleinen Abweichungen des Auslegerwinkels aus der Horizontalen. Eine Modellvalidierung von stark abweichenden Auslegerwinkeln sowie der Einfluss der Kranlaufbahn sowie der Lagerung der Kranlaufbahn müssen noch in weiterführenden Versuchen in einem realen Setting ermittelt werden. In weiterführenden Arbeiten sollen geeignete Messsysteme und Kalibrierungsroutinen auf Basis der getesteten Modelle entwickelt werden. Ziel ist es, ein Messsystem zu entwickeln, welches unabhängig vom Krantyp eingesetzt werden kann und zeitliche und produktabhängige Varianzen auf Basis von Verschleiß und Fertigungstoleranzen mitberücksichtigt.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Firma LASCO Heutechnik GmbH finanziert und durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG im Rahmen des Basisprogramms gefördert.

Literaturverzeichnis

- [HH18] Hehenberger, J.M.; Heinzl, A.J.: Verhalten eines Heukranerauslegers bei unterschiedlichen Lastbedingungen. 2018.
- [HKK13] Henikl, J.; Kemmettmüller, W.; Kugi, A.: Modeling and control of a mobile concrete pump. In (IFAC Hrsg.): 6th IFAC Symposium on Mechatronic System April 10-12, Hangzhou 2013. Volumes 46.5/13, S. 91-98, 2013.
- [HSC08] Hwang, J.C.; Seo, J.H., Choi; Y.W.; Yim, H.J.: Error compensation of a large scale LCD glass transfer robot. Mechatronics 17/07, S. 191-198, 2007
- [SV96] Surdilović, D., and M. Vukobratović.: Deflection compensation for large flexible manipulators. Mechanism and Machine Theory 31.3/96, S. 317-329, 1996.

Wie gut können Milcherzeugerpreise in Deutschland prognostiziert werden?

Ergebnisse bei Verwendung von Rohstoffpreis- und Rohstoffwertindikatoren

Holger D. Thiele¹, Jens Boysen-Hogrefe², Jonas Peltner³ und Björn Christensen⁴

Abstract: Die wenigen aktuellen Studien zur Prognose von Milchpreisen zeigen für kurze Zeiträume eine relativ gute Prognosegüte, insbesondere bei Kombination verschiedener Prognosemodelle, verwenden aber keine exogenen Indikatoren. In Ergänzung dazu untersucht diese Arbeit die Eignung verschiedener Indikatoren einschließender Prognosemodelle und vergleicht diese mit häufig in der Prognoseforschung angewendeten Modellen. Die Ergebnisse auf Basis von 152 Monatswerten zeigen eine signifikant höhere Prognosegüte für die Modelle, die einen allgemeinen Rohstoffpreisindex und einen spezifischen Weltrohstoffwert für Milch verwenden, um die Milcherzeugerpreise in Deutschland für sechs Monate vorherzusagen. Auf diesen Ergebnissen aufbauend sind weitere Forschungsarbeiten geplant.

Keywords: Milchpreise, Vorhersage, Zeitreihenanalyse, Indikatoren

1 Einleitung

Seit dem Jahr 2007 schwanken die Milcherzeugerpreise in Deutschland und in der Europäischen Union in vorher nicht gekanntem Ausmaß. Die hohe Preisvolatilität kann für Landwirte und verarbeitende Unternehmen zu bedeutenden wirtschaftlichen Problemen führen [CMB09]. Daher benötigen Landwirte und alle anderen Partner in der Wertschöpfungskette Milch zur besseren Planung ihrer unternehmerischen Tätigkeit eine möglichst genaue Vorstellung darüber, wie sich Milchpreise in der Zukunft entwickeln werden. Die Entwicklung von Modellen, welche gute Preisprognosen ermöglichen, ist daher ein wichtiger Bereich agrarökonomischer Forschung [A194; MC12].

Obwohl die Prognose von Rohstoffpreisen in der agrarökonomischen Forschung bereits seit Langem durchgeführt wird [A194] und im Lichte der aktuellen Entwicklungen der Milchpreise auch im Milchsektor von Bedeutung ist, existieren nur wenige aktuelle Studien, welche sich mit der Prognose von Milchpreisen befassen. Lira [Li13] zeigt, dass

¹ Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, holger.thiele@fh-kiel.de

² Institut für Weltwirtschaft, Makroökonomische Politik in unvollkommenen Märkten, Prognosezentrum, Kiellinie 66, 24105 Kiel, jens.hogrefe@ifw-kiel.de

³ ife Institut für Ernährungswirtschaft e.V., Fraunhoferstraße 13, 24118 Kiel, jonas.peltner@ife-ev.de

⁴ Fachhochschule Kiel, Institut für Statistik und Operations Research, Sokratesplatz 2, 24149 Kiel, bjoern.christensen@fh-kiel.de

sich polnische Milchpreise für einen kurzen Zeitraum im Voraus relativ gut vorhersagen lassen. Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kommen Hansen und Li [HL17], welche in ihrer Arbeit die Prognostizierbarkeit von Weltmilchpreisen untersuchen. Die Autoren betonen aber, dass durch eine Kombination verschiedener Prognosemodelle die Prognosegüte gesteigert werden kann. Für Deutschland und Europa zeigt eine aktuelle Arbeit von Bergmann, O'Connor und Thümmel [BCT18], dass ARIMA-Modelle für einen kurzen Zeitraum gute Prognoseergebnisse liefern, für einen längeren Zeitraum allerdings Zyklusmodellen unterlegen sind.

Die bisher durchgeführten Studien prüfen allerdings nicht, ob durch den Einbezug spezifischer exogener Variablen eine Verbesserung der Prognosen möglich ist, obwohl in der Literatur bereits eine Reihe von Indikatoren identifiziert wurden, welche die Preise von Agrargütern beeinflussen. Dazu zählen unter anderem die Preise anderer Rohstoffe wie Futtermittel- oder Ölpreise [BGW17; Mi08]. Weltmarktpreise wirken sich ebenfalls auf die nationalen Milchpreise aus [TRB13].

Diese Arbeit hat daher zum Ziel, die Eignung verschiedener Indikatoren zur Prognose von Milchpreisen in Deutschland zu prüfen. Dazu werden die Indikatoren einschließende AR-Modelle geschätzt, ihre Prognosegüte analysiert und mit der von häufig in der agrarökonomischen Prognoseforschung angewendeten ARIMA-Modellen sowie eines Random-Walk-Modells verglichen. So sollen erste Hinweise darauf gewonnen werden, ob Indikatoren im Vergleich zu bereits in der Forschung etablierten Prognosemodellen eine bessere Prognose von Milchpreisen ermöglichen.

2 Daten und Methode

Verwendet werden in dieser Arbeit monatliche Milcherzeugerpreise in Deutschland (in Cent/kg Milch). Als Indikatoren, welche auf ihre Eignung zur Prognose der Milchpreise getestet werden sollen, wurden zunächst ein Indikator für die Entwicklung auf dem Weltmilchmarkt sowie ein Indikator für die Entwicklung auf den Weltrohstoffmärkten eingesetzt. Als Indikator für die Entwicklung auf dem Weltmilchmarkt wurde der vom ife Institut in Kiel berechnete Weltrohstoffwert Milch verwendet. Dieser stellt die Verwertung der Milch auf dem Weltmarkt dar und wird anhand monatlicher Preise für Magermilchpulver und Butter berechnet. Als Maß für die Entwicklung auf den Weltrohstoffmärkten wurde der HWWI-Rohstoffpreisindex genutzt, welcher ein Indikator für die Kostenentwicklung bei importierten Rohstoffen ist. Für Milchpreise sowie die beiden genutzten Indizes lagen monatliche Werte für den Zeitraum von Januar 2007 bis August 2019 vor.

Insgesamt wurden fünf verschiedene Modelle auf ihre Eignung zur Prognose der Milchpreise in Deutschland getestet. Als naives Modell, gegen das alle übrigen Modelle getestet wurden, fand ein Random-Walk-Modell Verwendung. Als zweites Basismodell wurde ein ARIMA(1,1,1)-Modell, welches wegen seiner Einfachheit ebenfalls in der

Prognoseforschung beliebt ist, gewählt. Die Indikatoren Weltrohstoffwert Milch und HWWI-Rohstoffpreisindex wurden in drei Modellen auf ihre Eignung getestet: Geschätzt wurde jeweils ein AR(1)-Modell, in welches zusätzlich die Indikatoren (Weltrohstoffwert Milch, HWWI-Index, beide Indizes) als erklärende Variable aufgenommen wurden. Zur Berücksichtigung der Saisonalität wurde eine Dummy-Variable aufgenommen. Zur Berechnung der Punktprognosen wurde ein Rolling-Window-Ansatz mit einem Schätzzeitraum von 84 Monaten gewählt. Als Prognosezeitraum wurden jeweils sechs Monate gewählt.

Um die Güte der Prognosen zu bewerten, wurde auf zwei gebräuchliche Maße zurückgegriffen: Den mittleren absoluten Fehler (MAE) und die Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung (RMSE). Da diese aber noch keinen Vergleich verschiedener Modelle ermöglichen, wurden die MAE und RMSE der drei Indikatormodelle zusätzlich ins Verhältnis zum MAE bzw. RMSE des ARIMA-Modell gesetzt, sodass ein Vergleich des Abschneidens dieser Modelle mit dem ARIMA-Modell ermöglicht wurde. Zum Modellvergleich wurde zusätzlich der Diebold-Mariano Test [DM95] verwendet. Durch diesen wird getestet, ob der MAE eines Modells sich signifikant von denen eines zweiten unterscheiden. Durch Hinzuziehen des Diebold-Mariano-Test lassen sich Aussagen darüber treffen, ob die Prognosegüte eines Modells der eines zweiten signifikant überlegen ist, was bei bloßer Betrachtung der MAE- und RMSE-Werte nicht möglich ist.

3 Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 1 zeigt die MAE und RMSE der geschätzten Modelle. Es wird deutlich, dass alle gewählten Indikatoren eine genauere Prognose der Milchpreise in einem Zeitraum von sechs Monaten ermöglichen als das Random-Walk-Modell oder das ARIMA-Modell.

Modell	MAE	RMSE	RMAE	RRMSE
Random Walk	0,12	0,14		
ARIMA	0,12	0,15	1,00	1,00
Indikator: HWWI	0,10	0,13	0,83	0,86
Indikator: MW	0,11	0,14	0,92	0,93
Indikator: HWWI & MW	0,10	0,12	0,84	0,85

Anmerkung: Indikatormodelle: AR(1)-Modell ergänzt um Indikator(en) und Saisonalitätsdummy. HWWI: HWWI-Rohstoffpreisindex. MW: Weltrohstoffwert Milch. RMAE: MAE des jeweiligen Modells im Verhältnis zum MAE des ARIMA-Modells. RRMSE: RMSE des jeweiligen Modells im Verhältnis zum RMSE des ARIMA-Modells.

Tab. 1: Prognosegütemaße der getesteten Modelle

Vergleicht man die drei Modelle, welche Indikatoren beinhalten, so zeigt sich, dass sich die Prognosegüte des Modells, welches als einzigen Indikator den HWWI-

Rohstoffpreisindex und den Weltrohstoffwert Milch nutzt, unterscheidet. Die Prognosegüte des Modells, welches nur den Weltrohstoffwert Milch beinhaltet, ist allerdings deutlich schlechter als die der beiden anderen Indikatormodelle.

DM relativ zu			
Modell	Random Walk	MW	HWWI & MW
ARIMA	-0,17	1,14	2,14*
Indikator: HWWI	-2,88*	-0,91	-0,12
Indikator: MW	-0,99		2,24*
Indikator: HWWI & MW	-1,97*	-2,24*	

Anmerkung: Indikatormodelle: AR(1)-Modell ergänzt um Indikator(en) und Saisonalitätsdummy.
 HWWI: HWWI-Rohstoffpreisindex. MW: Weltrohstoffwert Milch. DM: Diebold-Mariano-Test.
 Ein * kennzeichnet Signifikanz zum 5% Niveau.

Tab. 2: Ergebnisse des Diebold-Mariano-Tests

Um eine genauere Betrachtung der Prognosegüte der verschiedenen Modelle zu ermöglichen, sind in Tabelle 2 die Werte der Teststatistiken des Diebold-Mariano-Tests dargestellt. Getestet wurden das ARIMA-Modell sowie die drei Indikatormodelle jeweils gegen das Random-Walk-Modell, das Indikatormodell, welches nur den Weltrohstoffwert Milch beinhaltet, sowie das Indikatormodell, welches den HWWI-Rohstoffpreisindex und den Weltrohstoffwert Milch beinhaltet.

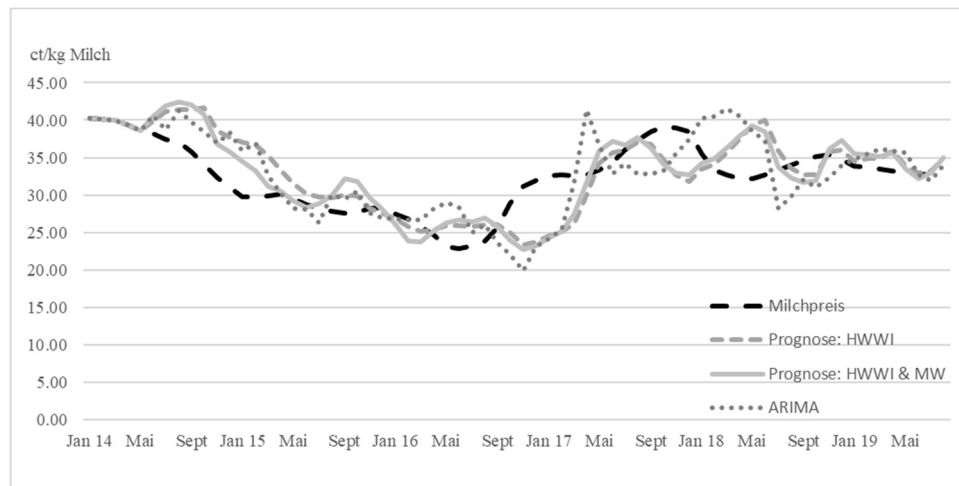


Abb. 1: Prognostizierte Milchpreise dreier ausgewählter Modelle

Vergleicht man die Modelle mit dem Random Walk, zeigt sich, dass zwar alle Modelle eine bessere Prognosegüte aufweisen, diese aber nur für das HWWI-Indikatormodell und das HWWI und Weltrohstoffwert Milch beinhaltende Modell signifikant besser sind als

die Prognosegüte des Random Walks. An dieser Stelle ähneln die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit denen von Bergmann, O'Connor und Thümmel [BCT18], welche ebenfalls bei ihrer Prognose der deutschen Milchpreise keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Random-Walk-Modell und dem ARIMA-Modell bei einem betrachteten Zeitraum von sechs Monaten feststellen konnten. Werden die verschiedenen Modelle mit dem Weltrohstoffwert Milch Indikatormodell verglichen, so zeigt sich, dass nur das HWWI und Weltrohstoffwert Milch beinhaltende Modell eine signifikant bessere Prognose ermöglicht. Der in der dritten Spalte dargestellte Vergleich der Modelle mit dem HWWI und den Weltrohstoffwert Milch einschließenden Modell zeigt, dass dieses genauere Prognosen als das ARIMA-Modell ermöglicht. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass nur den Weltrohstoffwert Milch einschließende Modell keine signifikanten Unterschiede in der Prognosegüte zwischen diesem und dem nur den HWWI-Index nutzenden Modell bestehen.

Zusammenfassend legen die Ergebnisse nahe, dass bereits mit wenigen einfachen Indikatoren höhere Prognosegüten erzielt werden können als bei Anwendung eines der Standardprognosemodelle. Dies wird auch bei Betrachtung von Abbildung 1 deutlich, welche noch einmal die mit den beiden besten Modellen prognostizierten Preise mit den mittels des ARIMA-Modells ermittelten vergleicht. Es ist noch einmal ersichtlich, dass sich die durch die beiden Indikatormodelle prognostizierten Preise über weite Strecken sehr ähnlich sind und ebenfalls weniger stark von den tatsächlichen Preisen abweichen als die mittels des ARIMA-Modells prognostizierten Preise.

4 Schlussfolgerungen

Ziel dieser Arbeit war es zu prüfen, ob mit Indikatormodellen eine verbesserte Prognose von Milchpreisen in Deutschland möglich ist. Es konnte gezeigt werden, dass für einen Prognosezeitraum von sechs Monaten durch einfache Indikatoren wie den HWWI-Rohstoffpreisindex alleine oder in Kombination mit dem Weltrohstoffwert Milch eine dem ARIMA-Modell überlegene Prognosegüte erzielt werden kann. In dieser Arbeit wurden allerdings nur zwei aus einer Reihe möglicher Indikatoren betrachtet. Für zukünftige Forschung stellt sich daher die Frage, welche weiteren Indikatoren oder Indikatorkombinationen für die Prognose geeignet sein könnten. Des Weiteren haben Autoren wie z.B. Colino et al. [Co12] gezeigt, dass durch die Kombination verschiedener Modelle eine Steigerung der Prognosegüte erreicht werden kann. Inwiefern dies auch auf die Prognostizierbarkeit deutscher Milchpreise zutrifft, sollte ebenfalls Gegenstand zukünftiger Forschung sein. Die hier dargestellten ersten Ergebnisse deuten zumindest an, dass durch Wahl geeigneter Indikatoren zukünftige Milcherzeugerpreise besser abschätzbar sind als gemeinhin auf Basis einfacherer Modelle angenommen wird.

Literaturverzeichnis

- [AI94] Allen, P.G.: Economic forecasting in agriculture. *International Journal of Forecasting* 10/1, S. 81-135, 1994.
- [BCT18] Bergmann, D., O'Connor, D., Thümmel, A.: An Evaluation of Point and Density Forecasts for Selected EU Farm Gate Milk Prices. *International Journal of Food and Agriculture Economics* 6/1, S. 23-53, 2018.
- [BGW17] Bohl, M.T., Groß, C., Weber, S.A.: Deutsche Milchprodukt-Futurekontrakte: Qualität der Preissignale und Eignung als Preisabsicherungsinstrument. Thünen Working Paper 71. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058511.pdf. Stand: 04.11.2019.
- [CMB09] O'Connor, D., Keane, M., Barnes, E.: The policy and trade challenges of managing price risk in the EU dairy industry. Vortrag gehalten auf der Agricultural Economics Society (UK) Conference, Dublin, 30. März – 1. April 2009.
- [Co12] Colino, E.V. et al.: Composite and Outlook Forecast Accuracy. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 37/2, S.228-246, 2012.
- [DM95] Diebold, F. X., Mariano, R. S.: Comparing Predictive Accuracy. *Journal of Business & Economic Statistics* 13/3, S.253-263, 1995.
- [HL17] Hansen, B.G., Li, Y.: An Analysis of Past World Market Prices of Feed and Milk and Predictions for the Future. *Agribusiness*33/2, S. 175-193, 2017.
- [Li13] Lira, J.: A comparison of the usefulness of Winters' and SARIMA models in forecasting of procurement prices of milk in Poland. *Quantitative Methods in Economics* 14/1, S. 325-333, 2013.
- [MC12] Martín-Rodríguez, G., Cáceres-Hernández, J.J.: Forecasting pseudo-periodic seasonal patterns in agricultural prices. *Agricultural Economics* 43/5, S. 531-544, 2012.
- [Mi08] Mitchell, D.: A Note on Rising Food Prices. Policy Research Working Paper 4682, Washington, DC, World Bank, 2008.
- [TRB13] Thiele, H.D., Richarts, E., Burchardi, H.: EU Dairy Market Export Analysis. ife Institut für Ernährungswirtschaft, Working Paper, Kiel, 2013.

Wirkungsanalyse von Schulungen zu Herdenmanagementprogrammen auf rinderhaltenden Betrieben

Larissa Verfürth¹, Miriam Kramer¹, Annemarie Leising¹, Katrin Schütz¹,
Nicole Tücking¹, Marc Boelhauve¹ und Marcus Mergenthaler¹

Abstract: Die zunehmende Digitalisierung in der Landwirtschaft bringt neben Vorteilen wie der Arbeitserleichterung auch Schwierigkeiten mit sich. Probleme und Hemmnisse der Betriebsleitenden im Umgang mit digitalen Technologien können hier genannt werden. Technische Potenziale von Programmen werden häufig nur in geringem Umfang ausgeschöpft, da sie sehr komplex sind. Im Rahmen des Projektes *Digitale Kuh 3.0* wurden anwendungsbezogene Schulungen angeboten, um Milchviehhaltenden den Einstieg in ein digitales Herdenmanagement zu erleichtern. Die Schulungen wurden exemplarisch am Herdenmanagement-Paket des Landeskontrollverbandes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Vor und nach der Schulungsveranstaltung fanden Onlinebefragungen der Teilnehmenden statt. Ferner wurde die Bearbeitung von anwendungsbezogenen Aufgaben mittels Beobachtungsprotokoll dokumentiert. Zum Ende der Veranstaltung wurde untersucht, wie sich die Anwendungsschulung auf die Arbeit mit dem Herdenmanagement-Paket auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schulungen die Bearbeitungszeiten der Aufgaben reduzieren sowie die Gefühlslage während der Bearbeitung positiver ist. Die Ansprüche einer intuitiven Bedienbarkeit von Apps im professionellen Kontext ist aufgrund der Ergebnisse zu qualifizieren.

Keywords: Digitalisierung, Managementhilfen, Hemmnisse, Milchviehbetriebe, Anwendungsschulungen

1 Einleitung

Mit steigender Herdengröße nehmen die Anforderungen an landwirtschaftliche Betriebsleitende zu. Die sachgerechte Integration von Arbeitsprozessen in das Tagesgeschehen zeichnet ein gutes Management aus [Pe12]. Herdenmanagementprogramme für PC und Smartphone werden auf landwirtschaftlichen Betrieben mit dem Betriebszweig Milchviehhaltung zunehmend etabliert, um prozess- und tierbezogene Daten zu dokumentieren und auszuwerten [SR11]. Die Programme können je nach Umfang neben Arbeitslisten auch einfache bis komplexe Analysen auf Einzeltier- und Herdenebene erstellen. Internetbasierte Informationssysteme sind in der Lage, diese anfallenden Daten unterstützend zu verarbeiten und strategische sowie direkt operativ umsetzbare Informationen für Milchviehhaltende zur Verfügung zu stellen [Pa04]. Das technische Potenzial dieser Programme wird meist wegen umfangreicher und komplexer Möglichkeiten nicht in vollem Umfang

¹ Fachhochschule Südwestfalen, FB Agrarwirtschaft, Lübecker Ring 2, D-59494 Soest, verfuert.larissa@fh-swf.de; kramer.miriam@fh-swf.de; annemarieleising@gmail.com; schuetz.katrin@fh-swf.de; tuecking.nicole@fh-swf.de; boelhauve.marc@fh-swf.de; mergenthaler.marcus@fh-swf.de

genutzt. Bisher gibt es nur wenige Veröffentlichungen über Schulungen zur Digitalisierung in der Landwirtschaft [vgl. Mi19; Le19]. In der vorliegenden Untersuchung werden anwendungsbezogene Schulungen hinsichtlich ihrer Funktion als Einstiegshilfe von Herdenmanagementprogrammen überprüft.

2 Methodisches Vorgehen

Im Februar und März 2019 fanden an zwei Standorten in Nordrhein-Westfalen insgesamt 16 Anwendungsschulungen mit etwa 250 Milchviehhaltenden statt. Die Schulungen bezogen sich auf das Herdenmanagementprogramm *Fokus* des Landeskontrollverbands Nordrhein-Westfalen. Das *Fokus-Paket* beinhaltet die Webanwendung *Fokus 2.0* und die dazugehörige Smartphone-App *FokusMobil*. Vor und nach den Schulungsveranstaltungen fanden jeweils Onlinebefragungen aller Teilnehmenden statt, welche anhand des erweiterten Technologieakzeptanzmodells TAM 2 strukturiert wurden [VD00]. Die Befragung wurde mit dem Online-Umfrage-Tool „2ask“ durchgeführt. Des Weiteren wurden vor und nach der Veranstaltung die Bearbeitung von Anwendungsaufgaben mit freiwilligen Schulungsteilnehmenden betrachtet und die Daten in einem strukturierten Beobachtungsprotokoll dokumentiert. Die beiden Protokolle umfassten jeweils die gleiche Anwendungsaufgabe, welche in der App *FokusMobil* zu lösen war. Während der Bearbeitung wurde die Zeit gestoppt, auftretende Schwierigkeiten wurden festgehalten und die Gefühlslage der nutzenden Person wurde erfasst und dokumentiert. Die vorliegenden Ergebnisse enthalten den gesamten Fragebogenkomplex, welcher die Ergebnisse des Vorher- und Nachher-Fragebogens und der Beobachtungsprotokolle vor und nach der Schulung von 56 Personen umfasst.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die vorliegende Teilstichprobe umfasst 40 Männer und 16 Frauen. Die Teilnehmenden verteilen sich auf folgende Altersklassen: 29 % zählen zu der Klasse 15-25 Jahre, 46 % zu der Klasse 25-45 Jahre und 25 % gehören zu der Klasse 45-65 Jahre. Vier der teilnehmenden Betriebe melken weniger als 49 Kühe, 23 melken 50-99 Kühe, 25 Betriebe managen eine Herde von 100-199 Kühen und weitere 4 Betriebe haben Herdengrößen, die mehr als 200 Tiere umfassen.

3.1 Einfluss des Smartphone-Betriebssystems auf die Intuitivität der Dateneingabe und den Schulungserfolg

Die abgefragte Anwendungsaufgabe war vor und nach der Schulung über die App *FokusMobil* zu lösen. Die Smartphones der Schulungsteilnehmenden aus der Teilstichprobe lie-

fen zu 80 % mit dem Betriebssystem Android (A) und zu 20 % mit dem Apple-Betriebssystem iOS (i). In dem Zusammenhang wurde untersucht, ob das verwendete Betriebssystem einen Einfluss auf die Bearbeitungsdauer der Anwendungsaufgabe hat. Bei der Abfrage „Azetonämie/Ketose für ein Tier eingeben“ vor der Schulungsveranstaltung brauchten Android-Nutzende durchschnittlich 69,4 Sekunden zur Bearbeitung der Aufgabe und iOS-Nutzende durchschnittlich 48,8 Sekunden (siehe Abb.1). Beide Gruppen waren nach der Schulung schneller in der Bearbeitung der Diagnose. Android-Nutzende waren danach in durchschnittlich 37,5 Sekunden mit der Aufgabe fertig und iOS-Nutzende nach 24,3 Sekunden. Dieses Ergebnis zeigt den Schulungserfolg durch die jeweils schnellere Eingabe, die auf ca. die Hälfte reduziert werden konnte. Ein weiterer Beleg für den Schulungserfolg ist die festgehaltene Abbruchrate der bearbeiteten Aufgabe. Vor der Anwendungsschulung haben 28 Teilnehmende die Aufgabe abgebrochen, davon waren 24 Personen Android-Nutzende und vier iOS-Nutzende. Erfolgreich eingegeben wurde die Azetonämie/Ketose von insgesamt 28 Teilnehmenden, aufgeteilt auf 20 Android- und 8 iOS-Nutzende. Im Anschluss an die Schulung konnten 51 der 56 Teilnehmenden die Anwendungsaufgabe mit Erfolg abschließen. Fünf Android-Nutzende mussten die Aufgabe auch nach der Schulung noch abbrechen.

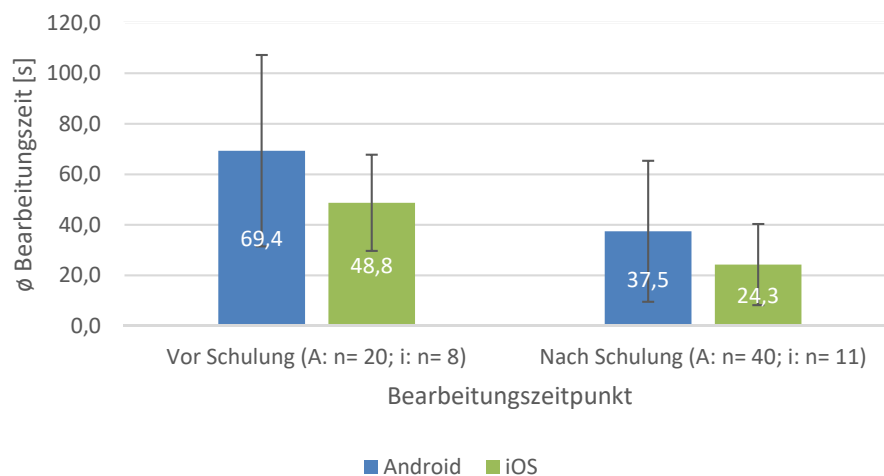


Abb. 1: Bearbeitungszeit (Mittelwert und Standardabweichung) der Anwendungsaufgabe „Azetonämie/Ketose für ein Tier eingeben“ vor und nach der Schulung in Abhängigkeit vom Betriebssystem Android (A) und iOS (i) für erfolgreich abgeschlossene Bearbeitungen (abgebrochene Aufgabenbearbeitung gehen nicht in Mittelwertberechnung ein) [Le19]

3.2 Intuitivität der Dateneingabe in Bezug zum wahrgenommenen Schwierigkeitsgrad

Nach der Bearbeitung der Anwendungsaufgabe wurden jeweils der empfundene Schwierigkeitsgrad beziehungsweise die aufgetretenen Probleme in Bezug auf die Intuitivität der Dateneingabe abgefragt und ausgewertet. Insgesamt benannten 44 der 56 Befragten vier konkrete Schwierigkeiten vor der Schulung. Darunter fallen die mangelnde Erfahrung im Umgang mit *FokusMobil*, Aufruf der Tierdetails, die Diagnose Azetonämie/Ketose finden und die Dateneingabe über den Plus-Button. Am problematischsten war es für die Schulungsteilnehmenden, die Diagnose Azetonämie/Ketose in der Diagnosenliste zu finden. Dies stellte für 23 der 44 Personen eine Schwierigkeit dar. Darauf folgt die mangelnde Erfahrung im Umgang mit der App, welche von 13 Teilnehmenden als Problem benannt wurde. Die Dateneingabe über den Plus-Button und der Aufruf der Tierdetails wurde jeweils von vier Personen als Unsicherheit angesprochen. Dementsprechend ist die Intuitivität der Dateneingabe über die App kritisch zu bewerten. Durch die anschließende Schulungsveranstaltung zum *Fokus-Paket* konnte der Großteil an Bedienungsschwierigkeiten reduziert werden. Nach der Schulung war lediglich eine Person unsicher bei der Menüführung. Ebenso wurden noch einmal Schwierigkeiten durch mangelnde Erfahrung im Umgang mit der App angegeben. Auch beim Aufrufen der Tierdetails war noch eine Person unsicher und die Dateneingabe über den Plus-Button war nach der Veranstaltung für zwei Teilnehmende weiterhin ein Problem. Die hier vorliegenden Ergebnisse belegen einen Lerneffekt durch die Schulung.

3.3 Intuitivität der Dateneingabe in Bezug zur wahrgenommene Gefühlslage

Zusätzlich zum abgefragten Schwierigkeitsgrad der Anwendungsaufgabe wurde die Gefühlslage der Befragten während der Bearbeitung erfasst und im Beobachtungsprotokoll festgehalten. Die Gefühlslage wurde vor und nach der Schulung dokumentiert, miteinander verglichen und mit der Intuitivität der Dateneingabe sowie dem Schulungserfolg in Verbindung gesetzt. Zur Bewertung der Gefühlslage standen vier Attribute zur Verfügung: sicher, neutral, unsicher und überfordert (vgl. Abb. 2). Im Vorhinein wurden 45 % der Teilstichprobe während der Bearbeitung als überfordert eingestuft. Die Intuitivität der Dateneingabe ist ohne Einführung in *FokusMobil* dementsprechend als gering einzustufen. Bei der Bearbeitung im Anschluss an die Schulung wurden nur 5 % als überfordert eingeschätzt. Nach der Anwendungsschulung wurde der Großteil (70 %) als sicher eingestuft und 18 % als neutral. Die Prägnanz der Umverteilung von Überfordert zu Sicher zeigt den Schulungserfolg hier besonders.

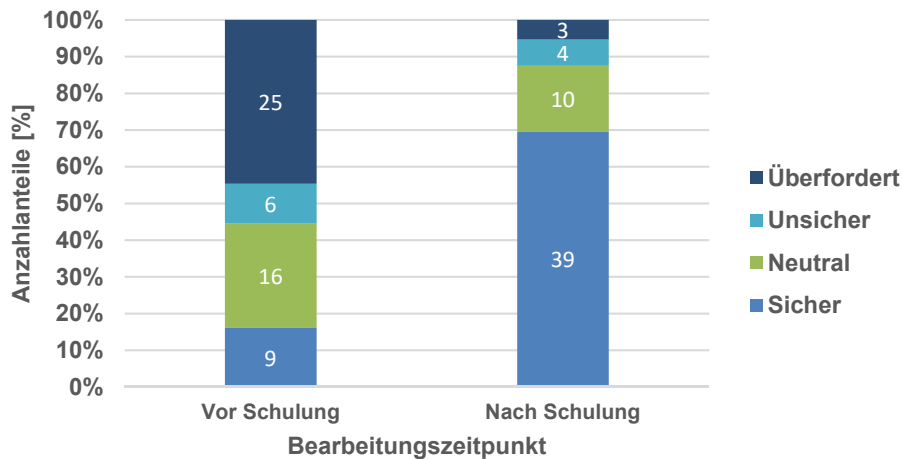


Abb. 2: Bewertete Gefühlslage der Teilnehmenden vor und nach der Schulung, während der Bearbeitung der Anwendungsaufgabe im Beobachtungsprotokoll [Le19]

4 Schlussfolgerung

Landwirtschaftliche Betriebsleitende sind durch die Nutzung digitaler Technologien in der Lage, Ressourcen effizienter einzusetzen, tiergerechter zu arbeiten sowie hochwertigere und auch nachhaltigere Lebensmittel zu produzieren [K118]. Neben den Vorteilen der zunehmenden Digitalisierung in der Landwirtschaft sollten die auftretenden Schwierigkeiten in der Nutzung nicht außer Acht gelassen werden. Hemmnisse der Betriebsleitenden im Umgang mit neuen digitalen Technologien und deren Komplexität sind in der vorliegenden Untersuchung deutlich geworden. Hier setzt das untersuchte Schulungskonzept an, welches Milchviehhaltenden den Einstieg in das digitale Herdemanagement erleichtern und eine intensivere Nutzung ermöglichen soll. Die Auswertung der Beobachtungsprotokolle vor und nach der Schulung zeigt, dass die App *FokusMobil* ohne Einführung Bedienungsschwierigkeiten aufzeigt. Deutlich wird das zum einen durch die Bearbeitungszeiten der beobachteten Anwendungsaufgabe. Zum anderen unterstützen die angesprochenen Schwierigkeiten sowie die wahrgenommene Gefühlslage der Teilnehmenden vor der Schulung diese Aussage. Durch die Anwendungsschulung zum *Fokus-Paket* konnten die Schwierigkeiten deutlich reduziert werden und Schulungserfolg sowie Lerneffekt werden ersichtlich. In weiterführenden Untersuchungen sollte herausgestellt werden, inwiefern die Schulungsveranstaltung die Nutzungsintensität des Herdenmanagementprogramms positiv beeinflussen kann. Der Anspruch der intuitiven Bedienbarkeit, der aus dem Konsumbereich teilweise naiv auf die Nutzung professioneller Digitallösungen übertragen wird, ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kritisch zu prüfen, zu qualifizieren und zu differenzieren. Dabei gilt es auch zu analysieren, inwiefern mit neuroökonomischen Forschungsmethoden, wie beispielsweise Eye-Tracking oder fNIRS [z.B. Po16] ein besseres

Verständnis von Intuitivität und User-Experience von digitalen Lösungen in der Tierhaltung möglich ist. Als Ziel ließe sich eine stärker User-orientierte Technikentwicklung ableiten, die durch höhere Adoptionsraten einen Beitrag für mehr Tiergesundheit und Tierwohl leistet. Zu prüfen wäre dabei, ob Intuitivität und User-Experience im professionellen Kontext durch andere Aspekte als im Konsumbereich charakterisiert ist.

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. Finanziert wird das Projekt vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen.

Literaturverzeichnis

- [Le19] Leising, A.: Wirkungsanalyse einer Anwendungsschulung zum Herdenmanagementpaket des Landeskontrollverbandes Nordrhein-Westfalen. Bachelorarbeit Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest (unveröffentlicht).
- [Kl18] Klöckner, J.: Chancen nutzen – Risiken minimieren, BMEL Digitalisierung in der Landwirtschaft, S. 4-5.
- [Mi19] Michels, M. et.al.: Zur Zahlungsbereitschaft von Landwirten für Schulungen zur Digitalisierung, Berichte über Landwirtschaft Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Band 97, Heft 1, S. 14, 2019.
- [Pa04] Pawelzik, B.: Das Wirtschaften aus dem Bauch ist vorbei, Eilbote, 47, S. 12-15, 2004.
- [Pe12] Pelzer, A.: Herdenmanagement in wachsenden Milchviehbetrieben. 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung, S. 19-21, 2012.
- [P016] Pollmann, K., Vukelić, M., Birbaumer, N., Peissner, M., Bauer, W., & Kim, S. (2016). fNIRS as a method to capture the emotional user experience: a feasibility study. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 37-47). Springer, Cham.
- [SR11] Stöcker, C.; Richarz, W.: Herdenmanagement: Hilfe vom Computer. DLG-Test 3/2011, S. 26-29, 2011.
- [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.
- [Zi11] Zimmermann, C.: Praxistest, Welche Software für meine Herde?, top agrar, 6, S. 26-31, 2011.

Datenhoheit in der Landwirtschaft 4.0

Rechtliche Aspekte der Verfügungsbefugnis über Betriebsdaten und denkbare Regelungsansätze zur Stärkung der Datenhoheit

Paul Vogel¹

Abstract: Sorgen um den Verlust der Datenhoheit prägen noch immer den zögerlichen Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft. Der Beitrag zeigt aus juristischer Perspektive auf, warum diese Sorgen durchaus berechtigt sind. Das geltende Recht kennt nämlich kein Recht an Daten, das den unkontrollierten Zugriff Dritter auf die Betriebsdaten eines Landwirts wirksam verhindern würde. Stattdessen muss der Schutz der Datenhoheit über vertragliche Vereinbarungen sichergestellt werden. Aufgrund vielfach unausgewogener Machtverhältnisse zwischen den einzelnen Akteuren kann diese Option allerdings nicht als Kardinalslösung angesehen werden. Der Beitrag gelangt zu dem Ergebnis, dass die gesetzgeberische Schaffung eines „Dateneigentums“ gleichwohl nicht erstrebenswert ist. Stattdessen schlägt er alternative Regelungsansätze vor, die den Ausgangspunkt einer Stärkung der Datenhoheit bilden können.

Keywords: Datenhoheit, Datenschutz, Dateneigentum, Landwirtschaft 4.0, Smart Farming

1 Einleitung

Daten sind der Motor der Digitalisierung der Landwirtschaft. Moderne Landmaschinen sammeln über Sensoren eine Vielzahl von Daten, die der Landwirt durch Software wie Farm Management Systeme auswerten und zur Optimierung seiner Produktionsprozesse entsprechend den Empfehlungen des Programms nutzen kann. Smart Farming verspricht eine Steigerung der Erträge bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten, etwa durch zielgenauen Düngemiteleinsatz oder ein ausgeklügeltes Fütterungsmanagement. In einem Verhältnis von beinahe umgekehrter Proportionalität verhält sich der Anstieg der Menge der auf einem landwirtschaftlichen Betrieb anfallenden Daten zur sinkenden Möglichkeit des Überblicks und der Einflussnahme des Landwirts über diese. Die Sorge um den Verlust der Souveränität über die eigenen Daten hemmt noch immer den fortschreitenden Einsatz intelligenter Systeme auf den Höfen – oder lässt die Landwirte, die solche Systeme bereits einsetzen, mit einem Gefühl von Ohnmacht angesichts fehlender Information über die Datenverwendung zurück.

Die Bedenken sind nicht unbegründet: Die Fusion einiger großer Agrarkonzerne sowie eine Absichtserklärung, die Datenschätze „nahezu in Echtzeit“ zusammenzuführen

¹ Forschungsstelle RobotRecht, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Domerschulstraße 16, 97070 Würzburg, paul.vogel@uni-wuerzburg.de

ren [Vo16], lassen die Entstehung von Datenmonopolen befürchten. Das kann dazu führen, dass einzelne Konzerne aufgrund ihrer datenbasierten Marktmacht einseitig beispielsweise die Konditionen von Lieferverträgen bestimmen und den Landwirten eine selbstbestimmte Entscheidung abnehmen („take it or leave it“). Der Beitrag beleuchtet, welche Möglichkeiten das geltende Recht zum Schutz der Datenhoheit kennt und ob diese überhaupt ausreichend sind, und präsentiert Ideen, wie durch geringfügige Anpassungen des Rechts die Hoheit von Landwirten über ihre Daten gestärkt werden kann.

2 Regelungen zur Datenhoheit nach geltendem Recht

Existenz und Grenzen einer Verfügungsbefugnis über Daten („Datenhoheit“) werden in der Rechtswissenschaft seit einigen Jahren kontrovers diskutiert. Bislang ist es allerdings nicht gelungen, anhand geltender Rechtsnormen ein Recht an Daten zu begründen. Das liegt vor allem daran, dass an Daten als nicht-körperlichen, nicht „fassbaren“ Gegenständen kein Eigentumsrecht bestehen kann. Das Eigentumsrecht ist das stärkste Recht der deutschen Zivilrechtsordnung, es verleiht seinem Inhaber das ausschließliche Recht, mit einer Sache nach Belieben zu verfahren und andere von der Nutzung dieser Sache auszuschließen. Das verdeutlicht bereits die Schwierigkeiten, von einem Eigentum an Daten zu sprechen. Denn dadurch, dass Daten ohne Aufwand und in beliebigem Umfang vervielfältigbar sind, können sie von mehreren Personen gleichzeitig verwendet werden. Es entstehen also im Regelfall keine kompensationsbedürftigen Abnutzungen durch ihre Verwendung. Genau das unterscheidet Daten von körperlichen Gegenständen, die im Regelfall nur durch eine einzige Person in vollem Umfang verwendet werden und an denen Abnutzungserscheinungen auftreten können. Gerade aus diesem Grund besteht überhaupt die Notwendigkeit, nur einer einzigen Person ein umfassendes Herrschaftsrecht einzuräumen. Demzufolge kann an Daten selbst – anders als an dem Trägermedium – ein Eigentumsrecht nicht bestehen.

Um die aus der fehlenden Verkörperung bestimmter Gegenstände resultierenden Schutzlücken zu schließen, wurde das Immaterialgüterrecht entwickelt. Insbesondere das Urheberrecht soll die an nicht-körperlichen Werken Berechtigten schützen und sie mit Rechtsschutzmöglichkeiten (unter anderem in Gestalt von Unterlassungs- und Schadensersatzansprüchen) ausstatten. Das Urheberrecht schützt grundsätzlich persönliche geistige Schöpfungen, etwa Musik-, Schrift und Filmwerke. Daten als solche sind allerdings regelmäßig kein Ergebnis eines Denkprozesses, sondern entstehen vielfach beiläufig beispielsweise während des Betriebs einer Landmaschine. Es handelt sich bei Daten daher nicht um persönliche geistige Schöpfungen. Für Datenbanken kennt das Urheberrechtsgesetz zwar ein besonderes Schutzinstrument, das demjenigen, der wesentliche Investitionen in die Beschaffung, Überprüfung oder Darstellung einer Sammlung von systematisch oder methodisch angeordneten Daten investiert, gewisse Rechte verleiht. Bloße ungeordnete Ansammlungen von „Rohdaten“ fallen allerdings ebenso wenig unter dieses

Schutzregime wie das einzelne Datum [He19]. Eine allumfassende Datenhoheit gewährt daher auch das Recht des geistigen Eigentums nicht.

Aus der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), die seit 2018 das wohl prominenteste Regelwerk zu Daten darstellt, lässt sich ebenfalls keine Datenhoheit herleiten. Zum einen betrifft die DSGVO per se lediglich personenbezogene Daten, also solche Informationen, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person beziehen. Reine Maschinendaten fallen damit von vornherein nicht in den Anwendungsbereich des Datenschutzes. Aber auch für personenbezogene Daten enthält die DSGVO keine Zuweisung einer Datenhoheit im Sinne einer exklusiven Verfügungsbefugnis. Bereits das Bundesverfassungsgericht stellte in seinem für das deutsche Datenschutzrecht wegweisenden Volkszählungsurteil fest, dass (auch personenbezogene) Informationen „ein Abbild sozialer Realität dar[stellen], das nicht ausschließlich dem Betroffenen allein zugeordnet werden kann“ (Urteil vom 15.12.1983 – 1 BvR 209/83 u.a., Rn. 156).

Da auch aus anderen Rechtsgebieten keine allgemeingültigen Regelungen zu einem Recht an Daten abgeleitet werden können, ist als Zwischenergebnis festzuhalten, dass die Datenhoheit des Einzelnen derzeit kaum rechtlich abgesichert ist.

3 Maßnahmen zur Gewährleistung der Datenhoheit

Mit der zunehmenden Vernetzung von Geräten und der Fortentwicklung intelligenter Systeme geht eine erhöhte Abhängigkeit von Daten einher. Aufgrund fehlender gesetzlicher Regelungen zur Datenhoheit ist der Einzelne dem Zugriff von Diensteanbietern schutzlos ausgesetzt. Es gilt ein Prinzip „faktischer Bestimmungsmacht“; wer im Besitz von Daten ist, kann diese (vorbehaltlich besonderen Schutzes, etwa aufgrund des Datenschutz- oder Urheberrechts) nach seinem Belieben nutzen.

3.1 Beschränkte Sinnhaftigkeit eines „Dateneigentums“

Dieser Umstand würde sich ändern, wenn der Gesetzgeber sich für die Schaffung eines „Dateneigentums“ entscheiden würde. Durch eine geringfügige Anpassung des Bürgerlichen Gesetzbuchs (BGB) könnte das Eigentumsrecht auch auf Daten erstreckt werden. Dies hätte zur Folge, dass aufgrund konkreter definierter Kriterien (deren Bestimmung erhebliche Schwierigkeiten bereitet) einem Rechtssubjekt ein absolutes Recht an einem Datum zugewiesen würde, auf dessen Grundlage die natürliche oder juristische Person nach ihrem Belieben mit dem Datum verfahren und andere beliebig von seiner Nutzung ausschließen könnte. Es ist allerdings höchst fraglich, ob ein solches Recht erstrebenswert ist. Zwar würde dadurch der momentan vorherrschende Zustand von Rechtsunsicherheit hinsichtlich der Hoheit über Daten beseitigt, zudem könnten sich neue datengetriebene Geschäftsmodelle etablieren. Darüber hinaus würden dadurch Anreize geschaffen, Daten zu monetarisieren, wodurch dem Einzelnen die Möglichkeit gegeben würde, an der Nutzung

„seiner“ Daten finanziell beteiligt zu werden. Andererseits könnten hierdurch soziale Ungleichgewichte entstehen, wenn aufgrund der entstehenden Marktdynamik einzelne Akteure zur Veräußerung ihrer Daten gezwungen würden [IN19]. Daneben besteht immer noch keine Einigkeit darüber, nach welchen Kriterien die Zuweisung eines Dateneigentums erfolgen sollte. Unter anderem aus diesem Grund hat auch die deutsche Justizministerkonferenz die Notwendigkeit und Möglichkeit der Schaffung eines Dateneigentums abgelehnt [JK17].

3.2 Vertragliche Regelungen über die Datenhoheit

Nachdem folglich mit der gesetzlichen Schaffung eines „Dateneigentums“ in absehbarer Zeit nicht zu rechnen ist, besteht nach geltender Rechtslage bislang allein die Möglichkeit, die Hoheit über bestimmte Daten oder Kategorien von Daten durch vertragliche Vereinbarung einer konkret definierten Entität einzuräumen. Gerade aufgrund des Machtungleichgewichts zwischen dem international agierenden Landmaschinenhersteller und dem Einzellandwirt in der Hallertau wird von ausgewogenen Vertragsverhandlungen allerdings keine Rede sein können – faktisch wird Letzterer gezwungen, die einseitig diktierten Bedingungen des Ersteren hinzunehmen, oder auf die Nutzung seiner Dienste komplett zu verzichten. Behält sich der Hersteller beispielsweise in dieser Vereinbarung den Zugriff auf Nutzungs- und Betriebsdaten vor, wird der Landwirt in seiner unternehmerischen Freiheit erheblich eingeschränkt, wenn er etwa den Anbieter wechseln oder die Daten für andere Dienste nutzen möchte; es kommt zu einem „lock-in“-Effekt [Sc19]. Aus diesem Grund kann der Verweis auf die Möglichkeit vertraglicher Vereinbarungen nicht als Kardinallösung für die Frage der Datenhoheit angesehen werden.

3.3 Möglichkeiten einer Stärkung der Datenhoheit des Landwirts

Statt eines eigentumsähnlichen Ausschließlichkeitsrechts sollte die Datenhoheit des Landwirts durch verschiedene Einzelmaßnahmen gestärkt werden. Denkbar wäre beispielsweise die Etablierung von Musterverträgen, mittels derer die Verfügungsbefugnis über Daten nach dem Willen der Parteien auf einen Beteiligten übertragen wird und die standardisierte Klauseln beinhalten, die auch den Schutz des wirtschaftlich Schwächeren im Auge haben. Die Verwendung dieser Musterverträge könnte durch eine freiwillige Selbstverpflichtung (Code of Conduct) der Wirtschaftspartner der Landwirte flankiert und sichergestellt werden. Bestrebungen zur Schaffung solcher Codes of Conduct existieren bereits auf Verbandsebene [DBV16]. Hier muss allerdings sichergestellt werden, dass im Rahmen der Ausgestaltung solcher Selbstverpflichtungen die Interessen der Landwirte hinreichend berücksichtigt werden. Die Beteiligung von Verbänden an der Erarbeitung eines Code of Conduct ist daher unerlässlich.

Zur Vermeidung von Datenmonopolen, die das Machtungleichgewicht zwischen den beteiligten Akteuren erheblich verstärken und die Datenhoheit wesentlich beeinträchtigen,

kommen darüber hinaus weitere Maßnahmen in Betracht. Durch die Etablierung standardisierter, offener Schnittstellen und verstärkte Interoperabilität von Systemen und Anwendungen [Bi19] könnten die oben beschriebenen „lock-in“-Effekte vermieden werden – mit einer spürbaren Stärkung der Datenhoheit als Konsequenz. Dieser Prozess muss allerdings von der Wirtschaft selbst angestoßen werden; der Gesetzgeber kann hier allenfalls Anreize setzen. Solche Anreize sollten auch und vor allem die weitgehende Vermeidung von Zulassungsbeschränkungen umfassen, die geeignet sind, Standardisierungsbestrebungen zu hemmen. Für alle Beteiligten nützliche Datenzusammenführungen könnten über eine „Agrar-Masterplattform“ erfolgen, auf die alle Landwirte zugreifen können. Das würde ihnen die Möglichkeit geben, ihre Betriebsdaten nicht ausschließlich für Agrarkonzerne zu generieren, sondern sie auch und vor allem für ihre eigenen Zwecke fruchtbar zu machen. Entsprechende Initiativen existieren bereits auf bundespolitischer Ebene [DB19].

Schließlich trägt zur Vermeidung von Datenmonopolen auch eine möglichst umfassende Transparenz von Datenverarbeitungsvorgängen dar. Im Falle der Verarbeitung personenbezogener Daten schreibt bereits die DSGVO eine für die betroffene Person nachvollziehbare Datenverarbeitung vor. Doch auch bei der Verarbeitung nicht-personenbezogener Daten sollten alle verarbeitenden Marktteilnehmer die Verarbeitung von Betriebs- und Maschinendaten so transparent wie möglich gestalten, damit derjenige, dessen Daten verarbeitet werden, umfassend über die Mittel und Zwecke der Verarbeitung unterrichtet wird. Eine solche Transparenz könnte durch die erwähnten Selbstverpflichtungen oder Vereinbarungen in Musterverträgen zur Datenhoheit erreicht werden.

4 Fazit

Bedenken über den Verlust der Hoheit über die eigenen Daten sind noch immer ein Grund für den teilweise nur zögerlichen Einsatz digitaler Technologien in der Landwirtschaft. Das geltende Recht kennt allerdings kein umfassendes Ausschließlichkeitsrecht an Daten, das mit dem Sacheigentum vergleichbar ist und den Einzelnen in die Lage versetzen würde, uneingeschränkt nach eigenem Ermessen mit den von ihm generierten Daten zu verfahren. Die gesetzgeberische Schaffung eines solchen „Dateneigentums“ ist indes auch nicht erstrebenswert, da ein solches zu sozialen Ungerechtigkeiten und neuen Hemmnissen bei der Etablierung digitaler Geschäftsmodelle führen würde. Nach geltendem Recht verbleibt daher lediglich die Möglichkeit, die Zuweisung der Datenhoheit individualvertraglich zu regeln. Gerade im Verhältnis zwischen internationalen Agrarkonzernen und kleinen Landwirtschaftsbetrieben gestalten sich Vertragsverhandlungen – soweit sie überhaupt stattfinden – jedoch alles andere als ausgewogen. Die Möglichkeit der vertraglichen Zuweisung ist demzufolge in vielen Fällen ungeeignet, die Datenhoheit des Landwirts zu gewährleisten.

Stattdessen sollten begleitende Maßnahmen getroffen werden, die die Position der Landwirte stärken. Denkbar wäre die Etablierung von Musterverträgen, die auch die Interessen

des wirtschaftlich Schwächeren angemessen zur Geltung bringen. Die Verwendung solcher Musterverträge könnte durch brancheninterne oder -übergreifende Selbstverpflichtungen (Codes of Conduct) motiviert werden. Dabei sollte stets auch eine möglichst transparente Datenverarbeitung Gegenstand der Verpflichtungen bzw. Vereinbarungen sein. Daneben könnte die Entstehung und Ausweitung von Datenmonopolen, die wesentlich zum Verlust der Datenhoheit beitragen, durch die Verwendung offener Schnittstellen verhindert werden. Hier ist der Gesetzgeber aufgerufen, entsprechende Anreize für Unternehmen zu schaffen, um den Prozess der Standardisierung voranzutreiben. Ein Schritt in die richtige Richtung ist die beabsichtigte Etablierung einer „Agrar-Masterplattform“, die einen vielversprechenden Ausgangspunkt für die Stärkung der Datenhoheit der Landwirte darstellen würde.

Literaturverzeichnis

- [Bi19] Bitkom: Positionspapier „Datenhoheit und Datennutzung in der Landwirtschaft“, 2019, S. 2 f., https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-10/bitkom_positionspapier-zu-datenhoheit-und-datennutzung-in-der-landwirtschaft_final_191021.pdf, 30.10.2019.
- [DB19] Deutscher Bundestag: Drucksache 19/10147, S. 2, <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/101/1910147.pdf>, 24.10.2019.
- [DBV16] Deutscher Bauernverband: Positionspapier „Landwirtschaft 4.0 – Chancen und Handlungsbedarf“, 2016, S. 4, <http://media.repro-mayr.de/06/661106.pdf>, 24.10.2019.
- [He19] Hermes, K.: Kommentierung zu § 87a UrhG. In (Wandtke, Artur-Axel; Bullinger, Winfried, Hrsg.): Praxiskommentar Urheberrecht, 5. Auflage, C.H. BECK, München 2019, Rn. 24.
- [IN19] Irnleitner, S.; Nohr, H.: Die Gerechtigkeitsfrage im Diskurs über die Einführung eines Rechts auf Eigentum an Daten. *Privacy in Germany (PinG)* 4/2019, S. 167-172, 2019.
- [JK17] Konferenz der Justizministerinnen und Justizminister der Länder: Bericht der Arbeitsgruppe „Digitaler Neustart“, 2017, S. 98, https://www.justiz.nrw.de/JM/schwerpunkte/digitaler_neustart/zt_bericht_arbeitsgruppe/bericht_ag_dig_neustart.pdf, 24.10.2019.
- [Sc19] Schweitzer, H.: Datenzugang in der Datenökonomie: Eckpfeiler einer neuen Informationsordnung. *Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht (GRUR)* 6/2019, S. 569-580, 2019.
- [Vo16] Voß, O.; Dürand, D.; Rees, J.: Wie die Digitalisierung die Landwirtschaft revolutioniert, *WirtschaftsWoche online* vom 19.01.2016, <https://www.wiwo.de/technologie/digitale-welt/smart-farming-wie-die-digitalisierung-die-landwirtschaft-revolutioniert/12828942.html>, 24.10.2019.

Entscheidungsunterstützung durch Datenvernetzung

Ein Fallbeispiel der Pflanzenbauberatung

Fabian Weckesser¹, Anja Hartmann¹, Michael Beck¹ und Sebastian Peisl¹

Abstract: Der Bayerischen Landwirtschaft stehen eine Vielzahl von Informationen zur Verfügung, welche als Basis für fundierte Entscheidungen im landwirtschaftlichen Produktionsprozess dienen. Um diese Fülle an Information gebündelt und fachlich sinnvoll verknüpft für Landwirte und Berater verfügbar zu machen, wird eine digitale Wissensbasis, als Grundlage für eine bessere Ausnutzung von Effizienzsteigerungspotenzialen im Pflanzenbau, entwickelt. Die Modellierung der Datenkonzepte in OWL-Ontologien und die Datenhaltung in RDF-Graphdatenbanken bilden die Basis für ein unabhängiges Expertennetzwerk. Am Fallbeispiel Stickstoffdüngung im Winterweizen entstehen unter Einbeziehung von realen Betriebsdaten erste Bausteine dieser Wissensbasis.

Keywords: Pflanzenbau, Entscheidungshilfesystem, Stickstoffdüngung, Graphdatenbank, RDF, OWL, SPARQL

1 Einleitung

Landwirte und ihre Berater haben den Anspruch, stets das Richtige zum richtigen Zeitpunkt zu tun. Um sich diesem Ziel zu nähern, bedienen sie sich des Fachwissens verschiedener Datenquellen und Formate und kombinieren dies mit eigenen Erfahrungen. Um ökonomisch und ökologisch optimal beraten und wirtschaften zu können, ist eine schnelle Verfügbarkeit und eine gute Vernetzung aller relevanter Daten, bspw. zu Bewirtschaftung, Boden und Wetter, unerlässlich.

Im Rahmen dieses Projektes werden unterschiedliche Datenquellen in einer gesamtheitlichen Wissensbasis verknüpft. Darauf aufbauend wird ein unabhängiges Entscheidungshilfesystem entwickelt. Landwirte oder Berater können mit dem Auslösen eines vordefinierten Abfragekomplexes auf sämtliches Wissen zugreifen, entsprechende Zusammenhänge herstellen und damit die Effizienz ihrer Produktionsprozesse steigern. Dies wird insbesondere vor dem Hintergrund zu erwartender, strengerer Reglementierungen (Düngeverordnung usw.) notwendig sein.

Am Beispiel der Stickstoff(N)-Düngung im Winterweizen werden für ausgewählte Praxisbetriebe betriebsindividuell alle notwendigen Informationen in einer Wissensbasis zusammengeführt. Gemeinsam mit der Verknüpfung von agrarwissenschaftlichen Fach-

¹ Hochschule Weihenstephan, Zentrum für Forschung und Wissenstransfer, Am Staudengarten 10, 85354 Freising, {fabian.weckesser; anja.hartmann; michael.beck; sebastian.peisl}@hswt.de

inhalten und regionalspezifischen Beratererfahrungen bildet dies die Grundlage für eine ganzheitliche, standortangepasste und gesetzeskonforme N-Düngeempfehlung.

Anhand der aufbereiteten Daten kann der Landwirt durch eine dynamische Bestandesführung während der Vegetationsperiode bei seiner Zielerreichung unterstützt werden. Die Berücksichtigung von Daten aus Precision- bzw. Smart-Farming-Anwendungen können die Entscheidungsfindung darüber hinaus verbessern. Der hier beschriebene Beratungsansatz analysiert dabei nicht umfassend alle N-Flüsse, jedoch sieht die Technologie zur Wissensvereinigung Schnittstellen zu Nährstoffmanagementsystemen mit weiteren Funktionalitäten vor.

2 Methodik

2.1 Verwendung von Semantic Web und Linked Data Technologien

Zum Aufbau der landwirtschaftlichen Wissensbasis und des Entscheidungshilfesystems werden OWL-Ontologien (Web Ontology Language) verwendet [Hi12]. Im Vergleich zu herkömmlichen Datenbanken verfügen Ontologien über eine hohe semantische Ausdruckstärke und sind daher geeignet, komplexe Zusammenhänge abzubilden. Aus den in Ontologien modellierten Daten und Logikregeln können logische Inferenzen (abgeleitetes Wissen) erschlossen werden [Hi08]. Im Agrarsektor finden diese Technologien bereits Anwendung [Sk19; Ca13].

Im vorliegenden Fall finden RDF (Resource Description Framework) und RDF Schema als Ontologiesprache Verwendung. Die Verknüpfungen der modellierten Fachinformationen und Daten werden in einer Graphdatenbank (GraphDB[®]) verwaltet. Graphdatenbanken haben gegenüber klassischen relationalen Datenbanken (RDB) dann einen Vorteil, wenn semantische Verknüpfungen vorliegen bzw. der Zugang zu entsprechenden Datenquellen über einen SPARQL-Endpoint gegeben ist [Na19].

Abb. 1 zeigt die Struktur des Expertennetzes. Die Schnittstelle zum Entscheidungshilfesystem wird durch einen Wissensingenieur betreut, welcher Experten- bzw. Beraterwissen und deren genutzte Datenquellen schnittstellenkonform aufbereitet. Die vom Berater oder Landwirt gestellte Anfrage wird über die Benutzeroberfläche dialogisiert und über SPARQL-Abfragen an die Wissensbasis (Graphdatenbank) kommuniziert.

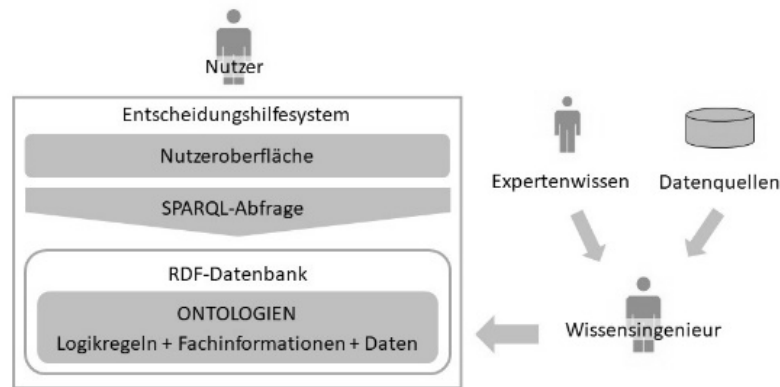


Abb. 1: Struktur des Expertennetzes

SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) ist eine graphenbasierte Abfragesprache für RDF-Modelle [Hi08]. Spezielle Erweiterungen ermöglichen zudem räumliche Abfragen. Die Anbindung an eine bereits existierende RDB, welche unter anderem Informationen zur Fläche (Bodenanalysen, Polygone etc.) bereitstellt, erfolgt durch die virtuelle RDF-Datenbank Ontop[®]. Diese übersetzt mittels R2RML (RDB to RDF Mapping Language) zwischen RDB und Graphdatenbanken. Eine entsprechende GUI (Graphical User Interface) für das Entscheidungshilfesystem, mit der Nutzer in Wechselwirkung treten, wird in JavaScript und HTML realisiert.

2.2 Landwirtschaftliche Praxis und Einflussnahme durch Beratung

Bei der Entscheidungsfindung des Beraters bzw. Landwirts wird unterstellt, dass dieser nutzenmaximierend handelt. Der Landwirt muss dabei zur Düngeentscheidung heuristische Annahmen treffen, da ihm bspw. zur Abschätzung der zukünftigen N-Mobilisierung zuverlässige Wetterprognosen fehlen [Ru98]. Der Landwirt wird seine Entscheidungsgrundlage jedoch so lange hinsichtlich seiner Optimierungsziele verbessern, wie es ihm bspw. durch Inanspruchnahme von Beratung und seinem subjektiv abgewogenen Kosten-Nutzen-Verhältnis möglich ist [LP10]. Ziel der Erarbeitung eines digitalen, dynamischen Beratungsleitfadens zur Düngeberatung ist es, die bewusst oder unbewusst in Kauf genommene Informationslücke zu minimieren.

Dazu werden auf neun bayerischen Modellbetrieben (Praxisbetriebe) mit Weizen in der Fruchtfolge verschiedene Düngestrategien (betriebsübliche Variante und Berater-Variante) beobachtet. Diese Betriebe in Niederbayern, Schwaben und der Oberpfalz repräsentieren unterschiedliche Raum-Klima-Zonen Bayerns [Ro07]. Die gewünscht vielfältigen Voraussetzungen der Modellbetriebe (Anbaudiversifizierung, Düngeregime, Betriebsgröße, Feldgröße, mit/ohne Viehhaltung etc.) dienen der Ableitung regionalspezifischer Parameter, welche durch Analyse der landwirtschaftlichen Praxis und der Beratungspraxis diverse Optimierungsansätze abbilden.

Abb. 2 zeigt das Vorgehen bei der Konzeptualisierung einer Entscheidungsunterstützung. Dabei werden nach der Wissensmodellierung (1) die Modellbetriebe von ihren Beratern mit Unterstützung des Entscheidungshilfesystems beraten (2). Die Evaluation (3) der Daten- bzw. Wirkungserfassung der Modellbetriebe führen zur iterativen Verbesserung des Systems (4) durch kumulierende Erfahrungswerte.

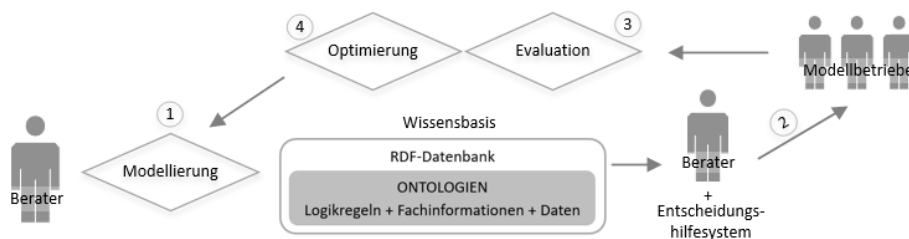


Abb. 2: Konzeptualisierung der Wissensakquise mit Experten und Modellbetrieben

Durch den Vergleich verschiedener Düngestrategien auf unterschiedlichen Standorten und dem mehrmaligen Durchlaufen des vorstehenden Zyklus wird die Robustheit der Handlungsempfehlungen on-farm validiert.

3 Ergebnisse

Am Beispiel der N-Düngung wurden fachlich relevante Datenquellen, z. B. der „Leitfaden zur Düngung“ [We18] und domänenspezifisches Allgemeinwissen aufbereitet, in ein maschinenlesbares Format überführt, sowie fachlich und technisch in der Wissensbasis verknüpft.

Die ausgewählten Modellbetriebe wurden als semantisches Netzwerk von Klassenkonzepten und Beziehungen in der „Modellbetriebe“-Ontologie hinterlegt. Da die Betriebe unterschiedliche, nur teilweise elektronische, Dokumentationssysteme verwenden, zeigte sich auch hier die Heterogenität der Daten in der Landwirtschaft und welche Hürde dies für die Vernetzung von Daten bedeutet. Für die Planung einer Düngungsmaßnahme wurden relevante Informationen des Betriebes, wie Polygone der Flächen, Sorte, Vorfrucht und bereits durchgeführte Düngemaßnahmen, vernetzt.

Neben Hinweisen zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben (DüV) sollen dem Berater und Landwirt zusätzliche zeit- und ortsabhängige Informationen bereitgestellt werden, die eine dynamische Optimierung der N-Gabe, z. B. auf Basis von Klima-, Boden- und Bestandsparameter, erlauben und damit Einsparungen bzw. eine verbesserte Verteilung der N-Gabe ermöglichen. Erfolgreich in der Ontologie modellierte Datenquellen sind u. a. **Bodengüte/-art, Bodenanalyse, BBCH-Stadium und Wetterdaten.**

Informationen zur **Bodengüte/-art** basieren auf den Polygonen der Reichsbodenschätzung, sowie deren Attribute (Bodenzahl, Ackerzahl etc.). Die Bodengüte/-art trägt bspw. zur Einschätzung der Wasserspeicherkapazität sowie des Ertragspotenzials des Bodens bei. Daneben werden die Nährstoffgehalte des Bodens durch die Anbindung einer MySQL[®]-Datenbank (mysql.com), welche **Bodenanalysen** vieler bayerischer Betriebe enthält, über eine Ontop[®]-Schnittstelle (ontop.inf.unibz.it) abgefragt.

Falls sich der Berater zum Zeitpunkt der Beratung nicht vor Ort befindet, kann das **BBCH-Stadium** kulturspezifisch über das Prognosemodell SIMONTO (ISIP) mit einer API-Schnittstelle ermittelt werden.

Die tagesaktuelle nutzbare Feldkapazität, Temperatur und Niederschlag des jeweiligen Standortes wird über die Anbindung an das Open Data Portal des Deutschen Wetterdienstes (cdc.dwd.de/portal) realisiert. Sie dienen u. a. zur Einschätzung der Mineralisierungsrate des Bodens und der Wirksamkeit geplanter Düngemaßnahmen. Es besteht zudem die Möglichkeit vorhandene N_{\min} -Werte einzugeben bzw. vorgeschlagene Richtwerte zu übernehmen.

Um fachspezifisches Kontextwissen bzw. die Entscheidungsmuster des erfahrenen Beraters abzubilden, wurden Experteninterviews geführt [Re15] und **individuelle Entscheidungsbäume** für verschiedene N-Düngungsintensitäten erarbeitet, welche gleichzeitig der Dokumentation und Qualitätssicherung dienen.

Anhand dieser Entscheidungsbäume und deren abgefragten Parametern fließen zusätzliche Faktoren in das Entscheidungshilfesystem ein. Dies sind **qualitative Parameter** wie bspw. die Bestandsdichte, welche durch ein einheitliches Referenzsystem quantifiziert wurden (z. B. schwacher Bestand zum Zeitpunkt X in Region Y und Sortentyp Z = 400 Ährentragende Halme/m²).

Bei Vollständigkeit der Angaben und Daten wird dem Nutzer durch das System in komprimierter Form ein „Bericht zur Düngung“ angezeigt. Die Ausgabe liefert einen Vorschlag zur Höhe der Einzeldüngegabe, Anzahl und Terminierung der N-Gabe.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes wird ein unabhängiges Entscheidungshilfesystem für bayerische Berater und Landwirte zur Effizienzsteigerung ihrer Produktionsprozesse entwickelt. Hierfür finden OWL-Ontologien und RDF-Standards Verwendung. Verschiedene Datenquellen werden annotiert, fachlich und technisch verknüpft und in eine einheitliche Wissensbasis integriert. Berater und Landwirte können so auf sämtliche standortspezifische Informationen zugreifen. Im Projektzeitraum erfolgt eine Fokussierung auf die N-Düngung im Winterweizen. Anhand realer Daten von neun Modellbetrieben wird das System validiert und anschließend durch Einbezug weiterer Berater und Praxisbetriebe auf Übertragbarkeit geprüft.

Zukünftig soll die Wissensbasis bzw. das Entscheidungshilfesystem nicht auf das Fallbeispiel N-Düngung beschränkt bleiben, sondern um weitere Themen, z. B. Pflanzenschutz oder Sortenwahl, erweitert werden.

Durch die Verbreiterung der Wissensbasis und das Schließen von Wissenslücken gewinnt die Datenmenge an Aussagekraft. Gleichzeitig ermöglicht die Skalierbarkeit der hochperformanten Technologie zukünftig den Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens, um aus bestehendem Wissen neues Beratungswissen logisch zu inferieren.

Literaturverzeichnis

- [Ca13] Caracciolo, C.; Stellato, A.; Morshed, A.; Johannsen, G. & Sachit, R.: The AGROVOC Linked Dataset. *Semantic Web*, 4, S. 341-348, 2013.
- [Hi08] Hitzler, P.; Krötzsch, M.; Rudolph, S., & Sure, Y.: *Semantic Web*. Springer, Berlin, 2008.
- [Hi12] Hitzler, P.: *OWL 2 Web Ontology Language Primer (Second Edition)*, <https://www.w3.org/TR/owl2-primer>, Stand: 28.10.2019.
- [LP10] Liebe, U. & Preisendörfer, P.: *Rational Choice Theory and the Environment: Variants, Applications and New Trends*. In: Groß, M. & Heinrichs, H. (Hg.) - *Environmental Sociology*. Springer, Berlin, S. 141-157, 2010.
- [Na19] Nafissi, A.; Weckesser, F.; Kessler, I.; Rickert, M.; Pfaff, M.; Peisl, S. & Beck, M.: *Wissensbasierte digitale Unterstützung in der Pflanzenbauberatung*. In: Ruckelshausen A. et al. (Hg.) - *Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich? Referate der 39. GIL Jahrestagung*, Wien, S. 145-150, 2019.
- [Re15] Reinhold, A.: *Das Experteninterview als zentrale Methode der Wissensmodellierung in den Digital Humanities*. *Information. Wissenschaft & Praxis*, 66 (5-6), S. 327-333, 2015.
- [Ru98] Rubinstein, A.: *Modeling Bounded Rationality*. Cambridge, Massachusetts. London, England: The MIT Press, 1998.
- [Ro07] Roßberg, D.; Michel, V.; Graf, R. & Neukampf, R.: *Definition von Boden-Klimaräumen für die Bundesrepublik Deutschland*. *Nachrichtenblatt*, 59, 7, S. 155-161, 2007.
- [Sk19] Skobelev, P. O.; Simonova, E. V.; Smirnov, S. V. & Budaev, D. S.: *Development of a Knowledge Base in the "Smart Farming" System for Agricultural Enterprise Management*, *Procedia Computer Science*, 150, S. 154-161, 2019.
- [We18] Wendland, M. et al.: *Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, 2018.

Dieser Beitrag entstand im Kontext eines durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Projektes.

Umweltschutz durch Präzisionslandwirtschaft – sind Rebound-Effekte möglich?

Paul Johann Weller von Ahlefeld¹

Abstract: Beim Einsatz von digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien zum Ressourcenschutz besteht die Gefahr des Auftretens von Rebound-Effekten. Als Rebound-Effekt bezeichnet man eine Vielzahl von Mechanismen, die dazu führen, dass die Einsparung einer Ressource durch den Einsatz einer Technologie durch eine erhöhte Nachfrage kompensiert wird. In der Landwirtschaft finden solche Technologien im Rahmen der Präzisionslandwirtschaft z. B. durch Sensortechniken Anwendung. Jedoch sind Rebound-Effekte in diesem Zusammenhang bisher wenig diskutiert. Diese Forschungslücke wird geschlossen, indem potenzielle Rebound-Effekte auf Basis einer Literaturrecherche für die Ressourcen Ackerland, Wasser, Pflanzenschutzmittel und Nährstoffe in Form von Düngemitteln diskutiert werden.

Keywords: Rebound-Effekte, Precision Agriculture, Sensoren, Jevons-Paradox

1 Einleitung

Die Landwirtschaft steht vor der Herausforderung, eine wachsende Weltbevölkerung zu ernähren. Ebenfalls wird von der Landwirtschaft ein Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz in Form eines effizienteren Ressourceneinsatzes erwartet [EU12]. Informations- und Kommunikationstechnologien (engl. Information and communication technologies, (ICT)) gelten als Instrument zur umweltfreundlichen Effizienzsteigerung [HR07]. Studien zeigen jedoch auch, dass es anstatt zu einer Ressourceneinsparung zu einer gesteigerten Nachfrage nach der Ressource infolge des Einsatzes von ICT kommen kann, was als Rebound-Effekt oder Jevons-Paradox bezeichnet wird. Diese Effekte gehen dabei explizit auf das adaptive Verhalten von Konsumenten und Produzenten als Reaktion auf die Einführung der ressourcensparenden Technologie zurück [So09; BMV00]. Für die Landwirtschaft wird sich ebenfalls durch den Einsatz von ICT im Rahmen der Precision Agriculture eine umweltfreundliche Effizienzsteigerung versprochen [Li17]. So kann z. B. durch den Einsatz von Sensoren die Überwachung und Kontrolle in der landwirtschaftlichen Produktion verbessert werden. Die erhöhte Verfügbarkeit von Informationen sowie die Verbindung mit teilflächenspezifischen Applikationstechniken können sowohl die Profitabilität

¹ Georg-August Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Arbeitsbereich Landwirtschaftliche Betriebslehre, paul.weller-von-ahlefeld@uni-goettingen.de. Ich danke Herrn Marius Michels und Herrn Prof. Dr. Oliver Mußhoff für wertvolle Hinweise bei der Realisierung des Beitrags.

der landwirtschaftlichen Produktion steigern als auch die negativen externen Effekte verringern. Jedoch sind mögliche Rebound-Effekte in der Landwirtschaft durch Techniken der Präzisionslandwirtschaft bisher wenig in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert.

2 Material und Methoden

2.1 Begrifflichkeiten

Im Folgenden werden die für den Beitrag relevanten Begrifflichkeiten definiert. Der Begriff Rebound-Effekt zur Beurteilung der Energie-Effizienz geht unter anderem auf Greening et al. [GGD00] zurück, die ihn aus dem Jevons-Paradox vom namensgebenden Ökonom Jevons abgeleitet haben [A105]. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Begrifflichkeiten.

Begriff	Definition
Jevons-Paradox	Erhöhte Nachfrage einer Ressource infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung dieser Ressource; Erhöhte Nachfrage übertrifft die Einsparungen
Rebound-Effekt	Erhöhte Nachfrage nach einer Ressource infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung dieser Ressource; Erhöhte Nachfrage übertrifft nicht die Einsparungen
Direkter Rebound-Effekt	Erhöhte Nachfrage nach einer Ressource infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung dieser Ressource
Indirekter Rebound-Effekt	Erhöhte Nachfrage nach anderen Ressourcen infolge der Einführung einer Technologie zur effizienteren Nutzung einer Ressource
Wirtschaftsweiter Rebound-Effekt	Summe aus direktem und indirektem Rebound-Effekt

Tab.1: Übersicht der grundlegenden Begrifflichkeiten zum Rebound-Effekt und Jevons-Paradox

Rebound-Effekt ist ein Oberbegriff für mehrere Mechanismen, die dazu führen, dass potenzielle Einsparungen einer Ressource zum Teil durch eine höhere Nachfrage nach der Ressource infolge der Einführung einer potenziell ressourceneinsparenden Technologie kompensiert werden. Rebound-Effekte gehen dabei explizit auf das adaptive Verhalten von Konsumenten und Produzenten zurück [So09; BMV00]. Als Jevons-Paradox wird die Situation bezeichnet, wenn die erhöhte Nachfrage die Einsparungen übertrifft und somit der Konsum der Ressource insgesamt nicht verringert, sondern sogar erhöht wird [A105]. Somit lässt sich zur Unterscheidung feststellen, dass beim Rebound-Effekt lediglich ein

Teil der Einsparungen bzw. die gesamten Einsparungen durch eine erhöhte Nachfrage ausgeglichen werden, während beim Jevons-Paradox die Einsparungen durch die erhöhte Nachfrage übertroffen werden. In der Landwirtschaft finden ICT insbesondere in Form der Präzisionslandwirtschaft Anwendung. Als Präzisionslandwirtschaft bezeichnet man dabei Managementstrategien, die Gebrauch von ICT machen, um Informationen und Daten aus einer Vielzahl von Quellen für die Entscheidungsfindung in der landwirtschaftlichen Produktion zu nutzen [Li17]. In der Präzisionslandwirtschaft wird dabei u.a. Gebrauch von Sensoren gemacht, um Informationen über Umwelt-, Boden- und Pflanzenzustände zu sammeln [AIS14]. Im Speziellen können über Sensoren Informationen über den Befall mit Unkräutern, Krankheiten sowie Schädlingen, die Wasser- sowie Nährstoffversorgung des Bodens und der Pflanzen, die organische Masse sowie den pH-Wert des Bodens, die Biomasse- und Ertragsentwicklung gesammelt werden. Ebenfalls können Trocken-, Hagel- oder Flutschäden erfasst werden [Mu13]. Diese Informationen ermöglichen es dem Landwirt unter Verwendung teilflächenspezifischer Techniken die Inputs präziser an den Bedarf anzupassen, um damit die Effizienz sowie Profitabilität zu steigern bzw. Kosten sowie externe negative Umwelteffekte zu verringern [ANM05].

2.2 Literaturrecherche

Folgende Suchwörter bzw. Kombinationen von Suchwörtern wurden in englischer Sprache für die Literaturrecherche mittels Google Scholar[©] und Web of Science[©] verwendet: *rebound effect, Jevons, Jevons paradox, agriculture, precision agriculture, remote sensing, wireless sensor networks, sensor, resource efficiency, efficiency, nutrients, fertilizer, crop protection, water* und *water management*. Nach dem Screening der Abstracts wurden passfähige Artikel für diesen Beitrag ausgewählt. Weitere Artikel, die nicht explizit durch die Suchwörter gefunden wurden, wurden mittels Kreuzverweise in den ausgewählten Artikeln identifiziert.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Nährstoffe

Der Schwerpunkt in der sensorunterstützten Applikation von Nährstoffen in der Literatur liegt auf der effizienten Ausbringung von Stickstoff (N). Kommerzielle optische N-Sensoren wie z. B. das SPAD-Meter als Handheld-Gerät oder der Yara-N-Sensor als Anbau für die Zugmaschine [Mu13] sind für Landwirte bereits seit längerer Zeit verfügbar. Diese Kopplung der sensorbasierten Messung des N-Bedarfs und einer teilflächenspezifischen Ausbringung ermöglicht eine sehr genaue Anpassung der applizierten Nährstoffmenge an den tatsächlichen Bedarf und kann damit die N-Effizienz steigern. Schieffer und Dillon [SD15] konnten zeigen, dass die Nutzung von Technologien der Präzisionslandwirtschaft wie automatische Lenksysteme und teilflächenspezifische Applikation die Ausbringungsmenge an Düngemitteln steigern kann und es somit zu einem Rebound-Effekt kommt.

Laut den Autoren gab es für die Landwirte einen Anreiz zum höheren Einsatz durch die verringerten Kosten [SD15]. Dies könnte ebenfalls beim Einsatz von Sensoren zur Verbesserung der teilflächenspezifischen Düngung auftreten. Weiterhin kann es zu Rebound-Effekten kommen, wenn auf sehr heterogenen Schlägen die Düngeintensität bisher eher gering war. Die Heterogenität kann in Form der unterschiedlichen Nährstoffbedürfnisse der Pflanzen auf Basis der Informationen der Sensoren besser berücksichtigt werden. Der Rebound-Effekt besteht dann darin, dass die Düngemittelintensität insgesamt steigt.

3.2 Pflanzenschutzmittel

Zur Unterstützung im Pflanzenschutz können ebenfalls Sensoren eingesetzt werden. Zum Beispiel können TIR-Sensoren pilzbedingten Stress identifizieren, bevor es auf der Pflanze zu sichtbaren Symptomen kommt. Auch Veränderungen im Spektrum des reflektierten Licht infolge des Befalls mit Krankheiten oder Schädlingen können mittels Sensoren identifiziert werden [WWP16]. Auf Basis von optischen Sensoren und Bilderkennung können Unkräuter von Kulturpflanzen unterschieden werden bzw. Unkräuter und Krankheiten genau erkannt werden. Schieffer und Dillon [SD15] vermuteten das Auftreten von Rebound-Effekten bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, lieferten allerdings keinen empirischen Nachweis. Rebound-Effekte wären möglich, wenn von wendender auf konservierende Bodenbearbeitung umgestellt wird und somit aufgrund des höheren Unkrautdrucks ein Teil der Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln kompensiert wird.

3.3 Wasser

Wasser ist eine der wichtigsten natürlichen Ressourcen der Welt. Insbesondere das Grundwasser, welches zumeist zur Bewässerung eingesetzt wird, nimmt eine bedeutende Position für die landwirtschaftliche Produktion ein [Se18]. Bewässerungstechnologien im Rahmen der Präzisionslandwirtschaft zielen darauf ab, eine bedarfsgerechte Menge zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort für die Pflanzen bereitzustellen [Ha15]. Durch eine effizientere Bewässerung ergibt sich das Paradox, dass die applizierte Wassermenge sinkt, aber gleichzeitig das von den Pflanzen konsumierte Wasser steigt, wodurch insgesamt die nachgefragte Wassermenge steigt [Se18]. Gemäß Sears [Se18] kann auch die Nährstoffverfügbarkeit bzw. der Nährstoffverbrauch durch eine bessere Bewässerung ansteigen, wodurch auch die Nachfrage nach Nährstoffen steigen könnte. Empirische Nachweise für das Auftreten von Rebound-Effekten bzw. Jevons-Paradox im Rahmen einer Effizienzsteigerung in der Bewässerung lassen sich dabei z. B. bei Li und Zhao [LZ18] sowie Pfeiffer und Lin [PL14] finden. Die Autoren begründen ihre Befunde damit, dass Landwirte durch die effizientere Bewässerungseffizienz einen Anreiz haben, weiteres Ackerland unter Bewässerung zu stellen oder wasserintensivere Kulturen anzubauen.

3.4 Ackerland

Für die Ressource Ackerland im Speziellen lässt sich keine explizite Sensortechnik benennen, die die Effizienz bei der Nutzung steigern kann. Vielmehr ist es das Zusammenspiel von Sensoren z. B. zur Unterstützung in der Düngemittel- oder Pflanzenschutzmittelapplikation, welches die Effizienz in der Nutzung von Ackerland durch eine erhöhte Produktivität und Profitabilität, steigern kann. Intuitiv ist folgerichtig, dass eine erhöhte Produktivität und Profitabilität pro Hektar Ackerland dazu führen müsste, dass weniger Land zur Herstellung von Nahrungsmitteln bzw. zur Erreichung der monetären Ziele des Landwirts gebraucht wird. Gemäß Rudel [Ru09] führt allerdings die elastische Nachfrage nach Agrargütern dazu, dass Landwirte aufgrund gesteigerter Profitabilität einen Anreiz haben, ihre Produktion auszuweiten. Pfeiffer und Lin [PF18] konnten für die globale Pflanzenproduktion feststellen, dass es trotz der gesteigerten Effizienz in der Ressourcennutzung zu einem Rebound-Effekt durch erhöhte Nachfrage nach Ackerland gekommen ist.

4 Fazit und Ausblick

Der Beitrag konnte in Hinblick auf seinen Titel zeigen, dass Potenzial besteht, die vier betrachteten Ressourcen Ackerland, Nährstoffe in Form von Düngemitteln, Pflanzenschutzmittel und Wasser durch Einsatz von Sensortechniken zu schonen. Gleichzeitig konnten mögliche Rebound-Effekte sowie Tendenzen zum Jevons-Paradox aufgezeigt werden, wodurch das Einsparpotenzial gemindert bzw. ausgesetzt wird. Politikmaßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit und des Ressourcenschutzes sowie der Digitalisierung in der Landwirtschaft sollten mögliche Rebound-Effekte bei der Entwicklung der entsprechenden Politiken berücksichtigen. Allerdings fehlt es meinem besten Wissen nach an weiteren empirischen Nachweisen für das Auftreten von Rebound-Effekten im Rahmen der Digitalisierung in der Landwirtschaft.

Literaturverzeichnis

- [AIS14] Abbasi, A. Z.; Islam, N.; Shaikh, Z. A.: A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36/2, S. 263-270, 2014.
- [AI05] Alcott, B.: Jevons' paradox. *Ecological Economics*, 54/1, S. 9-21, 2005.
- [ANM05] Adrian, A. M.; Norwood, S. H.; Mask, P. L.: Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and electronics in agriculture*, 48/3, S. 256-271, 2005.
- [BH01] Berkhout, F.; Hertin, J.: Impacts of information and communication technologies on environmental sustainability. *Speculations and evidence. Report to the OECD*, University of Sussex, Brighton, Volume 21. 2001.
- [BMV00] Berkhout, P. H. G.; Muskens, J. C.; Velthuisen, J. W.: Defining the rebound effect. *Energy policy*, 28/6-7, S. 425-432, 2000.

- [EU12] EU SCAR (2012): Agricultural knowledge and innovation systems in transition. Brüssel, Belgien: EU.
- [GGD00] Greening, L. A.; Greene, D. L.; Difiglio, C.: Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey. *Energy policy*, 28/6-7, S. 389-401, 2000.
- [Ha15] Harun, A.N. et al.: Precision irrigation using wireless sensor network. In: Proceedings of the 2015 International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA) held 26-28 Mai 2015, Kuala Lumpur, Malaysia. 2015.
- [HR16] Herring, H.; Roy, R.: Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect. *Technovation* 27/4, S. 194-203, 2007.
- [KFS17] Khanal, S.; Fulton, J.; Shearer, S.: An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 139, S. 22-32, 2017.
- [Li17] Lindblom, J. et al.: Promoting sustainable intensification in precision agriculture. Review of decision support systems development and strategies. *Precision agriculture*, 18/3, S. 309-331, 2017.
- [LZ18] Li, H.; Zhao, J.: Rebound effects of new irrigation technologies. The role of water rights. *American Journal of Agricultural Economics* 100/3, S. 786-808, 2018.
- [Mu13] Mulla, D. J.: Twenty five years of remote sensing in precision agriculture. Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114/4, S. 358-371, 2013.
- [PF18] Pellegrini, P.; Fernández, R. J.: Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115/10, S. 2335-2340, 2018.
- [PL14] Pfeiffer, L.; Lin, C-Y. C.: Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67/2, S. 189-208, 2014.
- [Ru09] Rudel, T. K. et al.: Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106/49, S. 20675-20680, 2009.
- [SD15] Schieffer, J.; Dillon, C.: The economic and environmental impacts of precision agriculture and interactions with agro-environmental policy. *Precision agriculture*, 16/1, S. 46-61, 2015.
- [Se18] Sears, L. et al.: Jevons' paradox and efficient irrigation technology. *Sustainability* 10/5, 1590, 2018.
- [So09] Sorrell, S.: Jevons' Paradox revisited. The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy policy*, 37/4, S. 1456-1469, 2009.
- [WWP16] Wójtowicz, M.; Wójtowicz, A.; Piekarczyk, J.: Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science* 11/1, S. 31-50, 2016.

Automatische Unterscheidung von Verhaltensmustern bei Schweinen auf der Basis von Anomalieerkennung durch ein neuronales Konvolutionsnetzwerk

Martin Wutke¹, Mehmet Gültas^{1,3}, Imke Traulsen² und Armin O. Schmitt^{1,3}

Abstract: Die automatisierte Erfassung und Klassifizierung spezifischer Verhaltensmuster von Hausschweinen ermöglicht die Untersuchung unterschiedlicher Einflussfaktoren in den Haltungsbedingungen. Vor allem die Analyse von Videoaufnahmen von Tieren stellt bestehende Ansätze vor Herausforderungen, da die beobachtbaren Verhaltensmuster keiner bestimmbar Verteilung zu folgen scheinen. Die präsentierte Methode verwendet einen Machine-Learning-Algorithmus, um das Aktivitätsniveau verschiedener Schweinegruppen auf Basis von Videoaufnahmen zu bestimmen. In einem ersten Schritt wird ein neuronales Netzwerk darauf trainiert, Anomalien in Form von unerwarteten Aktivitäten in den Videodateien zu detektieren. Anhand der erzielten Ergebnisse wird in einem zweiten Schritt ein Klassifizierungsalgorithmus entwickelt, wodurch ein standardisierter Vergleich unterschiedlicher Videosequenzen ermöglicht wird.

Keywords: Verhaltensbestimmung; Maschinelles Lernen, Videoanalyse

1 Einleitung und Problemstellung

Die Förderung des Tierwohls im Rahmen der Nutztierhaltung steht seit Jahren verstärkt im Fokus des öffentlichen Interesses. Vor allem Schweine sind sozial lebende Tiere und die Gruppenhaltung gilt als anzustrebende Haltungsform [KT11]. Allerdings kann es hierbei zum Auftreten aggressiver Verhaltensmuster kommen, welche sich oftmals im Zusammenhang mit einem erhöhten Bewegungs- und Aktivitätsniveau zeigen [OC14]. Durch die Identifikation spezifischer Bewegungsmuster kann das Tierverhalten eingehender analysiert und Tätertiere können leichter identifiziert werden, wodurch langfristig agonistische Verhaltensweisen herausgezüchtet werden können, was wiederum zu einer Verbesserung des Tierwohls beiträgt.

Allerdings stellen sowohl die sofortige Identitätsbestimmung als auch die nachträgliche Identifizierung mittels Videoauswertung eine hohe finanzielle und zeitliche Belastung dar.

1 Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsgruppe Züchtungsinformatik, Margarethe von Wrangell-Weg 7, 37075 Göttingen, Deutschland, martin.wutke@stud.uni-goettingen.de; gultas@informatik.uni-goettingen.de; armin.schmitt@uni-goettingen.de

2 Georg-August-Universität Göttingen, Arbeitsgruppe Systeme der Nutztierhaltung, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen, Deutschland, imke.traulsen@uni-goettingen.de

3 Center for Integrated Breeding Research (CiBreed), Albrecht-Thaer-Weg 3, Georg-August University, 37075, Göttingen, Deutschland

Ziel dieser Arbeit war die Implementierung eines neuronalen Netzwerks zur automatisierten Verhaltensbestimmung von Hausschweinen auf Basis von Anomaliedetektion in Videoaufnahmen. Das trainierte Modell wird danach dazu verwendet, 30-minütige Videosequenzen zu analysieren. Basierend auf den Ergebnissen dieses Analyseschritts wird ein Klassifikationsmodell verwendet, um die Intensität des Aktivitätsniveaus zu bewerten und die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Videos zu erhöhen.

2 Methodik

Zur Analyse der Videoaufnahmen wird ein *unsupervised Deep Learning-Algorithmus* in Form eines neuronalen Konvolutionsnetzwerkes (convolutional neural network, CNN) in einer Autoencoder-Struktur verwendet. Im Gegensatz zum derzeit dominierenden *supervised*-Ansatz werden bei einem *unsupervised*-Ansatz keine annotierten Daten für das Modelltraining benötigt [GBC16]. Als primäre Datenquelle werden extrahierte Schwarz-Weiß-Bilder in einer Auflösung von 400 x 600 Pixel einzelner Videoaufnahmen aus sechs verschiedenen Schweinebuchten verwendet.

Die Kernidee des implementierten Netzwerks besteht darin, die charakteristischen datengenerierenden Merkmale einer Sequenz von Einzelbildern (Frames) zu extrahieren und darauf basierend eine Vorhersage für das nachfolgende Bild zu erstellen. Hierbei werden die bildbeschreibenden Merkmale durch eine Autoencoder-Struktur, welche sich aus einem Encoder-Submodell und einem Decoder-Submodell zusammensetzt, extrahiert. Abbildung 1 zeigt diesbezüglich die verwendete Netzwerkstruktur und veranschaulicht die Systematik der Bildvorhersage.

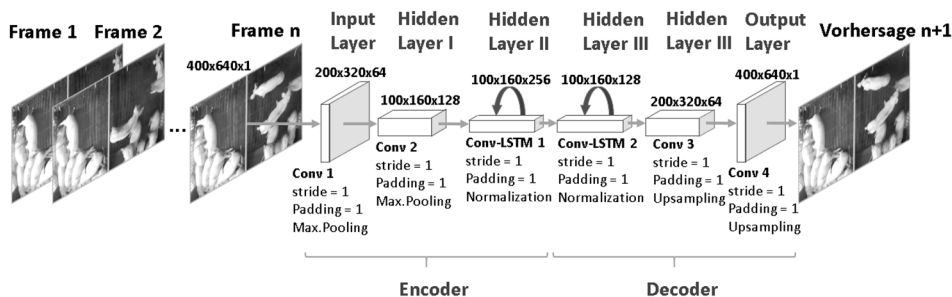


Abb. 1: Das neuronale Netzwerk weist eine Tiefe von sechs 2D-Konvolutionsschichten (Hidden Layers) auf. Für jede Konvolutionsoperation wird ein Stride- und Paddingparameter von eins sowie eine Max.Pooling-Operation verwendet, wodurch die Dimension der Eingangsdaten schichtweise verändert wird. Als Netzwerkoutput wird eine Vorhersage für das nachfolgende Bild erstellt und mit dem tatsächlichen Bild verglichen.

Für das Modelltraining werden ausschließlich Videosequenzen aus Ruhephasen verwendet, wodurch die Vorhersagegenauigkeit des trainierten Netzwerks für Videosequenzen mit niedrigen Aktivitätsniveaus erhöht wird. Videosequenzen mit hohen Bewegungs- und Aktivitätsniveaus werden hingegen verzerrt vorhergesagt. Durch einen paarweisen Vergleich der vorhergesagten Videoframes mit den tatsächlichen Frames kann die Güte der Vorhersage anhand des mittleren quadratischen Fehlers quantifiziert werden, wobei Videosequenzen mit hohen Rekonstruktionsfehlern und daher hohem Aktivitätsniveau als Anomalie eingestuft werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Netzwerkanalyse wird auf Basis des mittleren quadratischen Rekonstruktionsfehlers ein Klassifikationsalgorithmus trainiert, wodurch unterschiedliche Videosequenzen in einem normierten Wertebereich von [1:100] verglichen werden können. Die untere Grenze des Wertebereichs entspricht hierbei dem niedrigsten Aktivitätsniveau und die Obergrenze 100 dem höchsten Aktivitätsniveau. Die Videoklassifikation ist beispielhaft für zwei Testvideos in Abbildung 2 dargestellt.

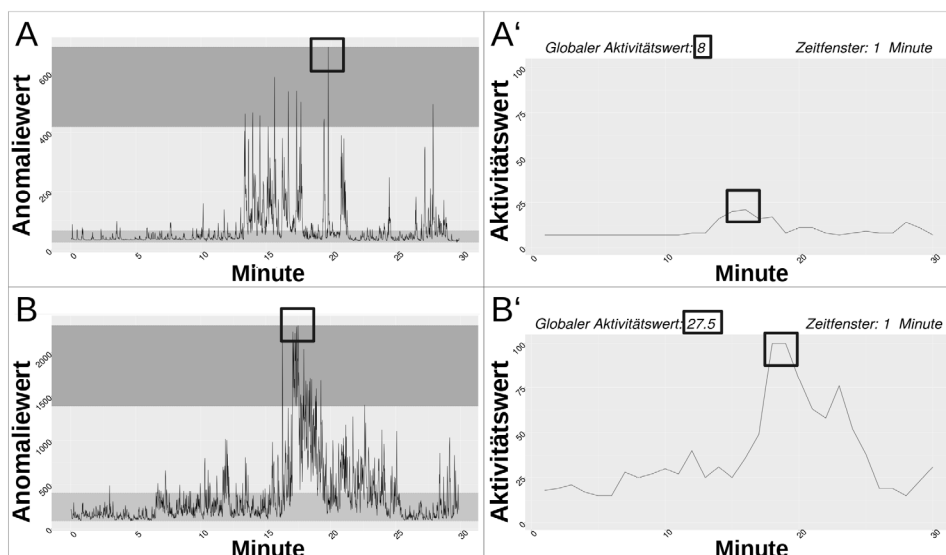


Abb. 2: (A) und (B) zeigen zwei vom Netzwerk analysierte Videos. Die unterschiedlichen Bereiche entsprechen unterschiedlichen Aktivitätsniveaus, wobei der untere Bereich für ein geringes Aktivitätsniveau und der obere Bereich für ein hohes Aktivitätsniveau steht. (A') und (B') zeigen die Ergebnisse des Klassifikationsalgorithmus. Im dargestellten Beispiel wird Video (A) mit einem durchschnittlichen globalen Aktivitätswert von 8 und Video (B) mit einem Wert von 27,5 eingestuft (Rahmen).

Die in Abbildung 2 dargestellten Videosequenzen weisen unterschiedliche Aktivitätsniveaus auf, was lediglich im Vergleich anhand der variierenden Skalenbereiche zu erkennen ist. Video (A) enthält überwiegend Phasen mit geringen Aktivitätsleveln, wohingegen Video (B) Phasen höherer Aktivität enthält. Durch die Klassifizierung der

Videsequenzen mittels des vorab trainierten Klassifikationsalgorithmus wird jeder Videosequenz ein globaler durchschnittlicher Aktivitätswert basierend auf dem individuellen Aktivitätsverhalten der Tiere zugeordnet, wodurch erste Erkenntnisse über das Tierverhalten gewonnen werden können. Darüber hinaus wird ein standardisierter Aktivitätsverlauf für ein vorab definiertes Zeitfenster berechnet, was die Identifikation, Filterung und den Vergleich von Phasen höherer Aktivität ermöglicht.

Für den Modelltest werden 288 nicht-annotierte Videos verwendet. Der Evaluierungsprozess ist zweigeteilt, wobei im ersten Schritt jedes Video einzeln ausgewertet wird. Um die Vergleichbarkeit der Videos untereinander zu erhöhen und um das Aktivitätsverhalten zu unterschiedlichen Zeitpunkten analysieren zu können, werden die Ergebnisse der Einzelauswertungen in einem zweiten Evaluierungsschritt verdichtet, indem die quadrierten Rekonstruktionsfehler für jede Videosequenz kumuliert werden.

3 Ergebnisse

Das Ergebnis des ersten Evaluierungsschrittes ist beispielhaft für ein Testvideo in Abbildung 3 aufgeführt.

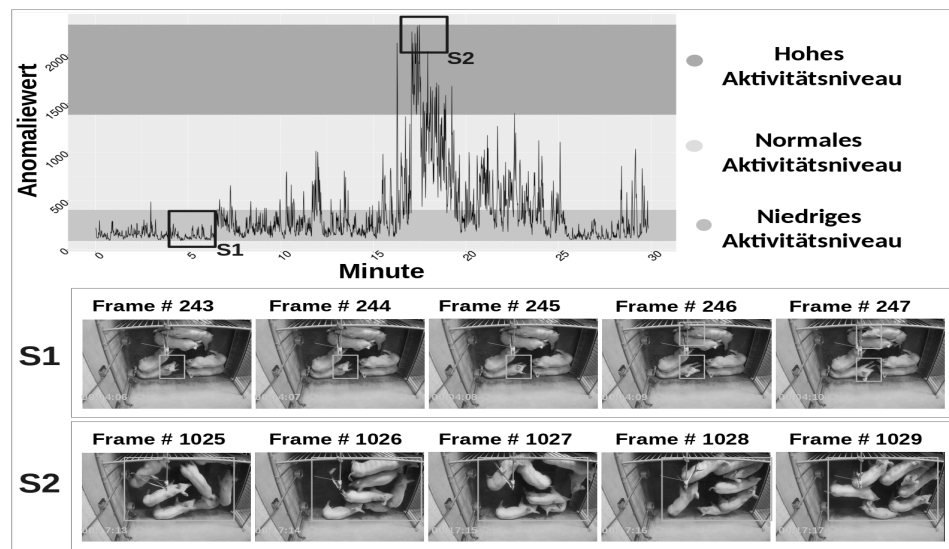


Abb. 3: Das 30-minütige Video weist zu Beginn eine Phase niedriger Aktivität auf (S1), welche durch leichte Kopfbewegungen einiger Tiere verursacht wird. In Minute 17 (S2) verschlechtert sich die Vorhersagequalität des Netzwerkes, was auf verstärkte Aktivität der Tiere hinweist. Bei Sichtung der entsprechenden Videostelle zeigt sich, dass die erhöhten Rekonstruktionsfehler durch starke Bewegungen aller Tiere hervorgerufen werden.

Für den zweiten Evaluierungsschritt werden die Ergebnisse der Einzelanalyse verdichtet. Das Ergebnis für alle 288 Videos ist in Abbildung 4 dargestellt.

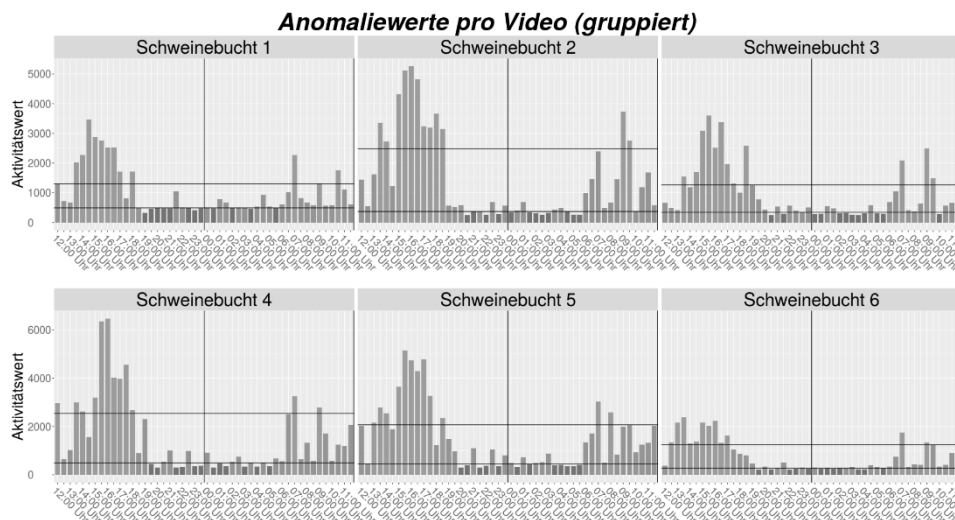


Abb. 4: Modellierung des Aktivitätsverlaufs unter Berücksichtigung gruppenspezifischer Effekte.

Abbildung 4 zeigt die Auswertung der sechs unterschiedlichen Schweinebuchten in einer Zeitspanne von 24 Stunden mit Beginn der Videoaufzeichnung um 12 Uhr. Jede Gruppe enthält 48 Videosequenzen. Im Ergebnis zeigt sich zunächst ein gruppenkonsistenter Anstieg des Aktivitätsniveaus der Tiere zu Beginn der Aufzeichnung. Mit Eintreten der Nacht fällt das Aktivitätsniveau erwartungsgemäß ab, was durch den natürlichen Schlafrhythmus der Tiere erklärt werden kann. Zum Ende der Aufzeichnung steigt das Aktivitätsniveau zwischen 6 Uhr und 11 Uhr wieder an.

Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, kommt es bei der Rekonstruktion von Videos unterschiedlicher Schweinebuchten zu einem gruppenspezifischen Effekt, wodurch ein Vergleich von Videosequenzen nur innerhalb einer Gruppe gegeben ist. Um diese Limitierung zu überwinden und um das Ergebnis einer einzelnen Videoanalyse besser einstufen zu können, wurden alle analysierten Videosequenzen durch einen zuvor angelegten Klassifikationsalgorithmus bewertet. Hierbei wurden die Rekonstruktionsfehler aller Sequenzen einer Gruppe gemeinsam betrachtet, um ein standardisiertes Klassensystem bestehend aus 100 Aktivitätsklassen zu erstellen. Das Ergebnis ist beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt. Für jede Videosequenz kann auf diese Weise ein globaler Aktivitätswert bestimmt werden, wodurch ohne manuelle Auswertung erste Informationen über das Tierverhalten erlangt werden können. Darüber hinaus wird der Aktivitätsverlauf durch ein frei wählbares Zeitfenster approximiert. Da diese Aktivitätsstandardisierung für alle Videogruppen separat vorgenommen wird, wird zudem die Vergleichbarkeit gruppenübergreifend erhöht.

4 Fazit

Die Verwendung von Videoanalysen im Rahmen der Nutztierhaltung ermöglicht eine effizientere Untersuchung des Tierverhaltens. Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz der automatisierten Analyse von Videodaten und der Erkennung unterschiedlicher Verhaltensmuster kann in einer Weiterentwicklung einen Beitrag zur Lösung der Problematik der Identifikation aggressiver Einzeltiere und damit zu einer langfristigen Steigerung des Tierwohls leisten. Darüber hinaus wird der zeitliche Aufwand der manuellen Auswertung reduziert, was eine Kosten- und Fehlerreduktion mit sich führt. Die Nutzung und das Potenzial neuronaler Netzwerke steht in diesem Zusammenhang noch in der Entwicklungsphase und zukünftige Netzwerkalgorithmen könnten beispielsweise Einzeltiere lokalisieren oder spezifische Verhaltenssituationen erfolgreich detektieren.

Literaturverzeichnis

- [GBC16] Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A.: Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series). The MIT Press, 2016.
- [KT11] KTBL: Ökologische Schweinehaltung – zukunftsweisende Haltungsverfahren. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Darmstadt), 2011.
- [Oc14] Oczak, M.; Viazzi, S.; Ismayilova, G.; Sonoda, L. T.; Roulston, N.; Fels, M.; Bahr, C.; Hartung, J.; Guarino, M.; Berckmans, D. et al.: Classification of aggressive behaviour in pigs by activity index and multilayer feed forward neural network. Biosystems Engineering 119, S. 89-97, 2014.

Automatisierte Lahmheitserkennung in der Milchviehproduktion

Klassifizierung der Datenerhebung und der Auswertestrategie aktueller Arbeiten

Kathrin Lina Martha Ziegler¹, Jochen Georg Wiecha¹ und Heinz Bernhardt¹

Abstract: Die frühzeitige Erkennung von Lahmheit stellt in den wachsenden Tierbeständen der Milchviehproduktion eine große Herausforderung dar. Zur Minimierung ökonomischer Verluste sowie einer Steigerung des Tierwohls in modernen Haltungen wird die Entwicklung einer automatischen Erfassung der Klauengesundheit angestrebt. Grundbausteine sind hierbei die maschinelle Erkennung und Beurteilung von individuellen Körpermerkmalen, welche, in Kombination mit einer visuellen Bonitierung mittels Locomotion-Scorings, zur möglichst exakten Ermittlung des Lahmheitsgrads führt. Bereits existierende wissenschaftliche Ansätze werden in der vorliegenden Arbeit hinsichtlich ihrer Methodik und Technik zur Datenerhebung klassifiziert, sowie auf ihre Wiederholbarkeit in der Praxis hin überprüft.

Keywords: Lahmheitserkennung, Automatisierung, Milchvieh, Locomotion Score, Automatisches Melksystem

1 Einleitung

Wachsende Tierbestände erschweren die Feststellung von Produktionskrankheiten. Eine Beobachtung des Einzeltiers kann ohne zusätzlichen Arbeits- und Kostenaufwand nicht mehr realisiert werden. Als ein ökonomisch und tierschutzrechtlich äußerst wichtiges Krankheitscluster ist die Lahmheit zu betrachten. Da die Produktionsleistung der Tiere wesentlich von ihrem Wohlbefinden abhängt, ist eine frühzeitige Erkennung im Anfangsstadium der Lahmheit entscheidend, da bereits geringe Ausprägungen zu deutlichen Leistungseinbußen führen können [FM08].

Zur Beurteilung des jeweiligen Lahmheitsgrads wird gegenwärtig der fünfstufige „Locomotion Score“ (LCS) nach *Sprecher et al.* (1997) verwendet. Die hierfür verwendeten Klassifizierungskonzepte beruhen auf der Bewertung von Lokomotion, Gewichtsverteilung zwischen den Gliedmaßen, Kopf- und Rückenhaltung sowie dem Verhalten der Tiere. Als Herausforderung dieses Systems ist die Objektivität und Erfahrung des beurteilenden Beobachters zu nennen, da sie Voraussetzung für die Zuverlässigkeit und damit die Gültigkeit des Tests ist [Vi14]. Kombinationen automatisierter Methoden der Datenerhebung als Lösung zur Erkennung von Lahmheit

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, Am Staudengarten 2, 85354 Freising, kathrin.ziegler@wzw.tum.de; wiecha@wzw.tum.de; heinz.bernhardt@wzw.tum.de

sowie zur Überwachung der Wirksamkeit der Behandlung treten dabei immer mehr in den Vordergrund [Ch10]. Sie erlauben eine digitale Frühdiagnostik, ohne dabei zusätzliche Arbeitskraft zu benötigen, und stoßen daher auf großes Interesse [Bo07; EE07]. Bereits bestehende Algorithmen zur automatischen Lahmheitserkennung konnten sich bislang jedoch noch nicht am Markt etablieren. Die vorliegende Arbeit klassifiziert aktuelle wissenschaftliche Arbeiten anhand ihrer Datenaufnahmestrategie, der verwendeten Tiergruppen und deren Stallanlagen, sowie die verwendete Technik mit ihren softwareseitigen Schnittstellen hinsichtlich Aussagekraft und Wiederholbarkeit.

2 Material und Methoden

Die Zusammenstellung der aktuellen Forschungsarbeiten erfolgte anhand einer Literaturrecherche und deren Klassifizierung anhand einheitlicher Bewertungskriterien. Exemplarisch wurden sechs relevante Arbeiten zum Thema ausgewählt, die in den Vergleich einbezogen wurden. Untersucht wurde der Zeitraum von 2014 bis 2019.

2.1 Klassifizierung nach Versuchsbedingungen

Aus wissenschaftlicher Sicht weist die Anzahl der Probanden auf aussagefähige Ergebnisse hin. In der Auswahl der Vergleichsstudien für diese Arbeit wurden Untersuchungen mit einer Gruppengröße von 57 bis 309 Tieren ausgewählt. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, liefen alle Vergleichsuntersuchungen jeweils nur auf einem Betrieb und jeweils nur mit Holstein Frisian als Milchkuhrasse. Die Klassifizierungsstufen sind „1 wenig Tiere“ für Untersuchungen bis 100 Kühe, „2 mäßig viele Tiere“ für Untersuchungen bis 200 Tiere und „3 breite Tieranzahl“ für Untersuchungen mit mehr als 200 Kühen. Betrachtet wurden zusätzlich Versuchsort und Untergrund.

2.2 Klassifizierung nach technischer Ausstattung

In den Untersuchungen fanden sich Arbeiten mit großem Materialaufwand und Arbeiten mit wenigen Kamerapositionen oder Blickwinkeln. Entsprechend werden die Klassifizierungen vorgenommen: „1 2D-Aufnahme oder nur eine Aufnahmequelle / -position“, „2 3D-Aufnahme“ und „3 mehrere 3D-Aufnahmen oder eine Kombination aus 3D mit einer weiteren Datenquelle“.

2.3 Klassifizierung nach Bonitierungsverfahren

Die Klassifizierungsstufen wurden anhand der Auswahl der „Experten“ getroffen und nach der Abstufung deren Bewertungsschemata, binär (lahm/nicht lahm) oder nach Anzahl der LCS-Grade. Die Klassen wurden gewählt wie folgt: „1 binär“, „2 drei Grade“

und „3 fünf Grade nach LCS“. Für die Bewerter der Lahmheit gibt es nur das Optimum „3 geschulter Tierarzt“. Die Stufe „2 geschulter Experte“ wird vergeben, wenn angenommen ist, dass ausgebildetes Personal bewertet hat. Stufe „1 ungelernete Beobachter“ sind Personen, die sich das Wissen ohne Ausbildung angeeignet haben.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Versuchsaufbauten der berücksichtigten Veröffentlichungen fanden jeweils nur auf einem konventionellen Betrieb mit teilautomatischen Melksystemen und dualer Melkrhythmik statt. Beprobte wurde dabei nur die Milchleistungsrasse Holstein-Friesian (HF) mit höchst unterschiedlichen Tierzahlen (vgl. Tab. 1). Für die Entwicklung eines Systems zur automatisierten Lahmheitserkennung in der Milchviehproduktion ist die Rasse Holstein-Friesian mit einer deutschlandweiten Nutzung von 47 % zwar als ausschlaggebend einzustufen, jedoch belaufen sich die Tierzahlen der Doppelnutzungsrasse Fleckvieh in Bayern auf 78,8 % [St18].

Autor, Jahr	Tierzahl	Versuchsort	Untergrund	Score nach 2.1
Dieckmann, 2019	309	Treibgang	Spaltenboden Beton	3
Abdul Jabbar, 2017	57	Treibgang	Beton	1
Fiolka, 2018	58	Laufstrecke zum Melkstand	Weide/Streu/Spaltenboden	1
Van Hertem et al. 2015	289	Treibgang	Spaltenboden Beton	3
Renn, 2014	150	Treibgang	Beton	2
Li et al. 2019	63	Weide/Außenbereich	Weide/Erdboden	1

Tab. 1: Klassifizierung nach Umweltbedingungen

Den höchsten Score in der Rubrik Umweltbedingungen erreichen nur zwei ausgewertete Arbeiten. Eine Möglichkeit der Verbesserung von automatisierter Lahmheitserkennung wäre die Einbeziehung verschiedener Rassen, wie beispielsweise Fleckvieh (FV) oder auch Jersey (JER). Ein Vergleich des automatisierten Lahmheitsscorings zweier Rassen

könnte wertvolle Übereinstimmungen, aber auch Unterschiede liefern. Eine regelmäßige Beprobung einer möglichst heterogenen Population könnte, bei der Verwendung einer Machine-Learning-Komponente in der automatisierten Erkennung der Rückenlinie, zu einer Verbesserung der Trefferrate bei verschiedenen Rassen führen. Um die Tiere möglichst separat beproben zu können, wurde sich in vier von fünf Veröffentlichungen für den Treibgang nach der Melkanlage zur Beobachtung und Aufnahme des Gangbilds entschieden. Der Untergrund, auf dem die Tiere liefen, bestand aus mit zumeist mit Spalten versehenem Beton. Einzig *Fiolka et al.* (2018) verwendeten einen Laufgang vom Melksystem in den Stall, was jedoch der seitlichen Aufnahme der Bilder geschuldet war. Die Abstände der eingesetzten 3D-Kameras wurden je nach Modell und den vorherrschenden Bedingungen im Stall eingenordet und an verschiedenen Gestellen mit unterschiedlichen Abständen angebracht und sind daher nicht vergleichbar.

Autor, Jahr	Technik	Kamera- position	Software/ Bildbearb eitung	Bildquali- tät/ Auflösung	Score nach 2.2
Dieckmann, 2019	3D/4D- Sensor/Kamera (Asus Xtion)+ 2x2D- Kamera	oben und vorn	Final Surface	640x480 Pixel	3
Abdul Jabbar, 2017	Eine 3D Kamera (Asus Xtion)	oben	.dll (imProc)	640x480 Pixel	2
Fiolka, 2018	2D Tageslichtkamera+ Wärmebildkamera	seitlich	N.N	N.N	1
Van Hertem et al., 2015	Eine 3D Kamera (Kinect)	Von oben	N.N	640x480	2
Renn, 2014	FLIR Infrarot Kamera	seitlich	N.N	160x120 Pixel	1
Li et al. 2019	iPhone8 plus	seitlich	Tensor Flow, PCKh	1920x108 0	1

Tab. 2: Klassifizierung nach technischer Ausstattung

Beim Score zur technischen Ausstattung scheint die Arbeit von Dieckmann im Vorteil, jedoch waren die 2D-Kameras Modelle aus der üblichen Überwachungstechnik und nur zur Evaluierung angebracht, anstatt zur Datenerzeugung.

Autor, Jahr	Visuelle Bonitur	LCS Verfahren nach Sprecher	Person	Beobachtung	Klassifizierung autom. Erkennung	Score nach 2.3 (Person – Grad)
Dieckmann, 2019	nein	5-stufig	gesch. Experte	Gelabelte Videoaufnahmen	Binär (lahm/nicht lahm)	1 - 1
Abdul Jabar, 2017	ja	5-stufig	gesch. Experte	Im Stall	Grad 1-3+ Lokalisierung Bein	2 - 2
Fiolka, 2018	Ja	5-stufig	gesch. Tierarzt	Im Stall	Binär (lahm/nicht lahm)	3 - 1
Van Hertem et al., 2015	ja	5-stufig	gesch. Experte	Im Stall	Binär (lahm/nicht lahm)	2 - 1
Renn et al., 2014	Ja	-	gesch. Experte	Im Stall	Binär (normal/abnormal)+ Lokalisierung Klaue	2 - 1
Li et al. 2019	Ja	-	-	Gelabelte Videoaufnahmen	Abnormale Bewegungsabläufe	1 - 1

Tab. 3: Klassifizierung des Bonitierungsverfahrens

Das Optimum geschulter Tierarzt kann nur eine Arbeit bieten. Entsprechend fällt das Scoring schlechter aus. Großer Wert sollte aber auf den Einsatz durch Veterinäre zur LCS Beurteilung gelegt werden, um die wissenschaftlichen Ergebnisse zu sichern.

4 Fazit

Die bisherigen Forschungsarbeiten zeigen, dass eine binäre Erkennung der Lahmheit am Tier mittels automatisierbarer Methoden bereits möglich ist. Es existieren Unterschiede hinsichtlich der verwendeten Methodik und ebenso beschreiben die Autoren die Subjektivität des Lameness Scorings gegenüber der objektiven Technik als problematisch. Hier könnte ein technisches Standardisierungsverfahren der automatischen Lahmheitserkennung helfen, unabhängig von der Rasse und dem körperlichen Zustand der Tiere vergleichbare Ergebnisse zu liefern. Um die Effizienz der Erfassung und Berechnung körperlicher Merkmale zu erleichtern, ist das Scannen der Tiere mittels 3D-Standbild aus mehreren Perspektiven im Automatischen Melksystem denkbar.

Literaturverzeichnis

- [Ab17] Abdul Jabbar, Khalid: 3D Video based Detection of Early Lameness in Dairy Cattle, Dissertation, UWE Bristol, 2012.
- [Bo07] Borderas, T.F.; Fournier, A.; Rushen, J. und de Passillé, A.M.B.: Effect of lameness on dairy cows' visits to automatic milking systems, In: Canadian Journal of Animal Sciences 88, S. 1-8, 2007.
- [Ch10] Chapinal, N.; de Passillé, A.M.B.; Rushen, J. und Wagner, S.: Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle, In: Journal of Dairy Science 93, S. 2007-2013, 2010.
- [Di19] Dieckmann, Sarah: Entwicklung eines Bildverarbeitungssystems zur Überwachung des Locomotion Scoring in Milchviehbetrieben, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, 2019.
- [EE07] Espejo, L.A. und Endres, M.I.: Herd-level risk factors for lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns, In: Journal of Dairy Science 90, S. 306-314, 2007.
- [FM08] Fiedler, A. und Müller, M.: Folgen mangelhafter Klauenpflege, In: Der praktische Tierarzt, 89 (2), S. 152-157, 2008.
- [FSH18] Fiolka, T.; Schächter, F. und Heinskill, J.: Automatische Rückenlinienanalyse bei Milchkühen aus Bilddaten, In: Bornimer Agrartechnische Berichte, 24. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft, Heft 99, S. 71-80, 2018.
- [LCD19] Li, J.; Cai, C. und He, J.: Deep cascaded convolutional models for cattle pose estimation, In: Computers and Electronics in Agriculture 164, S. 104885, 2019.
- [Re14] Renn, N.; Onyango, J. und McCormick, W.: Digital Infrared Thermal Imaging and manual lameness scoring as a means of lameness detection in cattle, In: Veterinary Clinical Science, 2 (2), S. 16-23, 2014.
- [SHK97] Sprecher, D.J.; Hostetler, D.E. und Kaneene, J.B.: A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance, In: Theriogenology, 47 (6), S. 1179-1187, 1997.
- [St18] Stmelf – Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg): Rinderzucht in Bayern-Daten und Fakten, Offizielle Broschüre, Erscheinungsjahr: Juli 2018
- [Va15] Van Hertem, T.; Bahr, C.; Schlageter-Tello, A. und Viazzi, S.: Lameness detection in dairy cattle: single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behavior and performance sensing, In: Animal, 10 (9), S. 1525-1532, 2015.
- [Vi14] Viazzi, S.; Bahr, C.; Van Hertem, T.; Schlageter-Tello, A.; Romanini, C.E.B; Halachmi, I. und Berckmans, D.: Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows, In: Computers and Electronics in Agriculture, 100, S. 139-147, 2014.

Maschinelle Lernverfahren zur frühzeitigen Prognose der Handelsklasse

Tobias Zimpel¹, Martin Rieker², Christa Hoffmann³ und Andrea Wild⁴

Abstract: Landwirte in der Schweinehaltung sehen sich zunehmend einem Spannungsfeld zwischen der Wirtschaftlichkeit sowie stetig steigenden Tierwohlanforderungen ausgesetzt. In Anbetracht der Wirtschaftlichkeit spielt die Einstufung des Schlachtkörpers durch den Magerfleischanteil in die jeweilige Handelsklasse (S, E, U, R, O, P) für die Vergütung eine entscheidende Rolle. Zudem impliziert eine niedrige Handelsklasse eine Gefährdung des Tierwohls. So kann eine niedrige Handelsklasse ein Indikator für ein Untergewicht des Tieres sein. Diese Arbeit nutzt Maschinelle Lernverfahren (ML) zur Prognose der Handelsklasse. Der Datensatz umfasst über 57.000 Schweine und 14 Indikatoren der Säugephase. Der zentrale Beitrag ist ein ML-Modell zur Prognose der Handelsklasse während der Säugephase. Gegenüber dem Mehrheitsvotum wird die Genauigkeit um 12,21 % erhöht, ausgehend von einer Genauigkeit der Prognose der Handelsklasse von 68,77 %. Somit hilft der Beitrag, die Wirtschaftlichkeit von Betrieben nachhaltig zu verbessern und Abweichungen zur angestrebten Handelsklasse zu erkennen.

Keywords: Maschinelle Lernverfahren, Handelsklasse, Tierwohl, frühzeitige Prognose

1 Einleitung

Die Prognose der Handelsklasse ist ein relevanter Forschungsgegenstand, da die Preisentwicklung für Schweinefleisch die Wirtschaftlichkeit von Betrieben bedroht [Säl18]. Betriebe sind zusätzlich mit höheren Anforderungen der Konsumenten an das Tierwohl konfrontiert [Bu16]. Abweichungen von der angestrebten Handelsklasse sind verbunden mit Mindereinnahmen für den Landwirt. Zudem kann die Abweichung ein Indikator für eine Gefährdung des Tierwohls sein, ausgelöst durch mögliches Untergewicht des Tieres. Tierwohl ist häufig tierspezifisch und kann daher auch bei artgerechter Haltung bei einzelnen Tieren gefährdet sein [Bo07]. Zunehmend eingesetzt werden Sensorik-Lösungen zur Erkennung von Abweichungen des zu erwartenden Verhaltens [Ma16]. Allerdings erkennen diese Ansätze die Gefährdung des Tierwohls erst bei Eintritt der Gefährdung.

Vor diesem Hintergrund setzt diese Arbeit Maschinelle Lernverfahren (ML) ein, um die Handelsklasse mit Indikatoren der Säugephase zu prognostizieren. So wird z. B. das Geburtsgewicht genutzt, um die Überlebenswahrscheinlichkeit von Ferkeln zu berechnen

¹ Universität Hohenheim, Stuttgart, tobias.zimpel@uni-hohenheim.de

² Universität Hohenheim, Stuttgart, martin.rieker@uni-hohenheim.de

³ Magility GmbH, Plochingen Str. 58, 73230 Kirchheim unter Teck, christa.hoffmann@magility.com

⁴ Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg, Boxberg, andrea.wild@lsz.bwl.de

und dadurch individuelle Gegenmaßnahmen zu ermöglichen [Dí17]. ML sind Algorithmen, die eine Leistungssteigerung durch zunehmende Erfahrung hinsichtlich einer Aufgabe aufweisen [Mi97]. Hierbei haben neben den ML-Algorithmen die Hyperparameter einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, wodurch ein Vergleich von ML mit unterschiedlichen Hyperparametern notwendig ist (Model Selection) [Wop96].

2 Material

In dieser Arbeit werden Daten der Landesanstalt für Schweinezucht Boxberg verwendet. Diese Daten enthalten über 57.104 Schweine, die im Zeitraum Oktober 2011 bis Mai 2018 geboren wurden.

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist die Zielvariable Handelsklasse des Schlachtkörpers gemäß der Europäischen Kommission [Eu11]. Zur Einteilung eines Schlachtkörpers wird der geschätzte Muskelfleischanteil (PMFA) genutzt. Alternativ ist die Klassifizierung durch Geräte mit Ultraschallwandlern möglich. Der PMFA wird für Schlachtkörper zwischen 50 und 120 Kilogramm in Deutschland auf Basis des Speckmaßes (S) und Fleischmaßes (F) berechnet. Das Speckmaß (S) entspricht der Mindestspeckdicke, unter Berücksichtigung der Schwarte, in Millimeter [Eu11]. Das S wird hierbei an der dünnsten Stelle der Hüftgelenkmuskulatur, dem Musculus gluteus medius, des Schlachtkörpers gemessen. Das Fleischmaß (F) entspricht dem geringsten Abstand zwischen dem vorderen Ende und hinteren Ende des Musculus gluteus medius, in Millimetern. Zur Berechnung des PMFA wird folgende Berechnung genutzt [Eu11]:

$$\text{PMFA} = 58,10122 - 0,56495 * S + 0,13199 * F$$

Als Feature wurden 14 biologische Indikatoren gewählt, die in der Säugephase verfügbar und unmittelbar mit einem Schwein verbunden sind, wie in Abbildung 1 dargestellt. Diese Indikatoren sind (1) die Haltungsumgebung des Schweins, (2) die Rasse der Mutter, bestehend aus 8 unterschiedlichen Rassen oder Rassenkreuzungen, (3) die Rasse des Vaters mit 7 Ausprägungen, (4) das Geburtsgewicht jedes einzelnen Tieres in Gramm, (5) das Kontrollgewicht am 21-sten Tag nach der Geburt, (6) das Absetzgewicht, (7) das Geschlecht mit den Ausprägungen männlich, weiblich und der Anomalie Zwitter, (8) die prozentuale Zunahme zwischen Geburtsgewicht und Absetzgewicht, (9) das geplante Absetzalter in Tagen sowie (10) die tägliche Zunahme in der Säugephase. Diese Indikatoren werden um biologische Indikatoren ergänzt, die den Wurf beschreiben. Diese umfassen (11) die Wurfnummer der Mutter, welche die Anzahl an vorherigen Würfen der Mutter angibt, (12) die Anzahl der lebend geborenen Schweine im Wurf des Schweins, (13) die Anzahl der tot geborenen Schweine im Wurf des Schweins und (14) die Anzahl an insgesamt geborenen Schweine im Wurf eines Schweins. Die Haltungsumgebung des Schweins steht für die konventionelle Haltung auf einem Spaltboden oder die alternative Haltung, die Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit und Stallfläche je Schwein aufweist.

Die Daten wurden durch Identifizierung von Ausreißern, Vereinheitlichung der Schreibweise bei Textfeldern und Überprüfung des Datentyps bereinigt. Ausreißer waren Werte, die größer als die Obergrenze des 1,5-fachen Interquartilsabstands plus fünf Prozent des Interquartilsabstands zum 75 Perzentil oder kleiner als die Untergrenze des 1,5-fachen Interquartilsabstands minus fünf Prozent des Interquartilsabstands zum 25 Perzentil sind. Alle Aufzeichnungen, die einen Ausreißer, einen falschen Datentyp oder fehlende Werte enthalten, wurden aus dem Datensatz entfernt. Der genutzte Datensatz enthält die nach dem Geburtsdatum 9.999 aktuellsten Aufzeichnungen als Testmenge, da eine Aufzeichnung eine in der Trainingsmenge nicht vorhandene Rasse nutzt und somit aus der Testmenge entfernt werden musste. Von den verbleibenden Aufzeichnungen wurden die 10.000 aktuellsten als Trainingsmenge genutzt, um zu gewährleisten, dass die Berechnung des PFMA in den Datensätzen konstant ist.

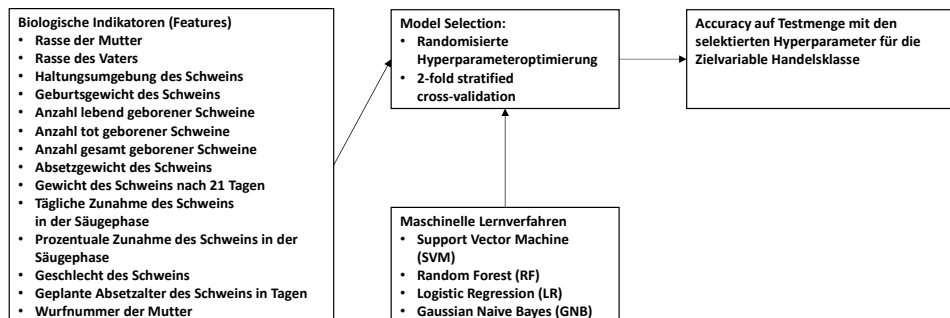


Abb. 1: Modell zur Prognose der Handelsklasse

Das Vorgehen zur Gestaltung eines Modells zur Prognose der Handelsklasse teilt sich in die Auswahl der Verfahren, die Parametrisierung der Verfahren und das Training der Verfahren auf der Trainingsmenge und Berechnung des Klassifikationsfehlers auf einer unabhängigen Testmenge auf. In Abbildung 1 ist dieses Vorgehen grafisch dargestellt. Es werden die ML Support Vector Machine (SVM)[CV95], Radom Forest (RF) [Brei01], Gaussian Naive Bayes (GNB) [JL95]und Logistic Regression (LR) [LWK08] von Scikit-learn 0.19.2 verwendet. Die Trainingsmenge und Testmenge wurde vor der randomisierten Hyperoptimierung auf das Intervall [0,1] normalisiert und für kategoriale Features mit dem One Hot Encoding-Verfahren transformiert [BeY12]. Dadurch wird eine kürzere Berechnungszeit durch Beibehaltung von null-Werten im Vergleich zu nicht null-Werten bei kategorialen Features ermöglicht.

Model Selection erfolgt durch eine randomisierte Hyperparameteroptimierung. Hierbei werden verschiedene Konfigurationen der Hyperparameter auf der jeweiligen Trainingsmenge getestet, um die Parameter mit der höchsten Leistung des jeweiligen Verfahrens zu ermitteln [BeY12]. Für das Verfahren RF wurde für den Hyperparameter Anzahl an Features eine zufällige Ganzzahl zwischen 1 und der Anzahl an biologischen Indikatoren genutzt, für die minimale Anzahl an Stichproben eine zufällige Ganzzahl zwischen 1 und 11, der Nutzung des gesamten Datensatzes zur Baumerzeugung, für den

Split die Splitverfahren Gini und Entropy und für die Anzahl an Bäumen die Zahlen 10, 100 und 200. Bei der SVM und der LgR wurde der Kostenparameter aus der Menge 0.0001, 0.01, 0.1, 1, 10, 50, 75, 100, 125, 150, 1000, 1500, 2000, 3000 und 5000 zufällig gezogen [HCL03]. Für den Parameter „kernel“ der SVM erfolgte die zufällige Auswahl der Kernelarten linear, poly, rbf und sigmoid aus.

Bei der randomisierten Hyperoptimierung wurden für die genutzten ML ohne GNB jeweils zehn Durchgänge mit zufälligen Parametern der vordefinierten Parametermenge mit einer 2-fold stratified cross-validation durchgeführt [Ko95]. Für jede der 16.383 Kombinationen an biologischen Einflussfaktoren eine randomisierte Hyperoptimierung durchgeführt.

Als Leistungsmetrik wird die Accuracy (ACC) genutzt. Diese beschreibt, mit welchem prozentualen Anteil ein Klassifikationsverfahren Objekte einer Klasse korrekt zuordnet [WFH11]. Zur Darstellung der Leistungsfähigkeit wird die Konfusionstabelle eingesetzt [MaSc99]. True positive (tp) bedeutet, die Klasse wurde erkannt und die Klasse liegt vor. False positive (fp) beschreibt, die Klasse wurde erkannt, ist allerdings unzutreffend. False positive (fn) steht für die Klasse wurde nicht erkannt, liegt aber vor. True negative (wn) beschreibt die Klasse wurde nicht erkannt und liegt nicht vor. Die ACC wird wie folgt definiert [MaSc99]:

$$ACC = (tp + fp) / (tp + fp + tn + fn)$$

Für die Kombination an trainiertem ML, Hyperparameter und biologischen Indikatoren mit der höchsten ACC wurde auf der Testmenge die ACC berechnet und mit der Mehrheitsentscheidung der Testmenge verglichen.

3 Ergebnisse

Die erzielte ACC auf der Testmenge mit den genutzten Verfahren ist in Abbildung 2 dargestellt. Zur Vereinfachung wird bei gleicher ACC die Kombination an Indikatoren mit der geringsten Anzahl an biologischen Indikatoren genutzt.

	Handelsklasse
Biologische Indikatoren	Geschlecht, Rasse der Mutter, Haltung des Schweins
Majority Vote	0,5656
LgR	0,6877

Abb. 2: ACC auf der Testmenge

Die Handelsklasse eines Schlachtkörpers wird bei Nutzung des LgR und den Indikatoren Geschlecht des Schweins, Rasse der Mutter sowie Haltung des Schweins zu 68,87 % korrekt vorhergesagt. Diese Indikatoren sind bei der Geburt verfügbar. Die Erhöhung der ACC um 0,1221 im Vergleich zur Mehrheitsentscheidung ist eine Steigerung von 21,95%.

4 Diskussion

Die ACC bei der Prognose der Handelsklasse lässt sich gegenüber der Mehrheitsentscheidung um 21,95 % unter Verwendung der Indikatoren Geschlecht, Rasse der Mutter und Haltung des Schweins steigern. Die größte Steigerung wird bei alleiniger Betrachtung dieser drei Features vom Geschlecht des Schweins ermöglicht. Der Einfluss des Geschlechts stimmt mit bisheriger Forschung überein [Dí17]. Diese drei Indikatoren sind bereits bei der Geburt verfügbar. Zu keiner Erhöhung der ACC führen Features, die später in der Säugephase verfügbar sind. Eine mögliche Erklärung liegt darin, dass die Zucht auf ein Zielgewicht abgestimmt ist. Die Prognose der Handelsklasse ist weiterhin nicht vollständig möglich. Somit ergeben sich Ansatzpunkte für weitere Forschung. Die Untersuchung der Nutzung weiterer biologischen Indikatoren, speziell Indikatoren aus der Aufzuchtphase und Mastphase, sind notwendig, um die ACC weiter zu steigern. Für den Effizienzgewinn durch die randomisierte Optimierung wird möglicherweise die Kombination mit der maximalen ACC ausgelassen, da die Parameter zufällig gewählt werden.

5 Fazit

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass die Prognose der Handelsklasse der Schlachtkörper von Schweinen mit einer Genauigkeit von 68,87 % möglich ist. Dadurch ist proaktives Gegensteuern frühzeitig und kostengünstig bereits bei der Geburt möglich. Die Handelsklasse der Schlachtkörper beeinflusst die Wirtschaftlichkeit von Betrieben und hat somit einen unmittelbaren Einfluss auf den Investitionsspielraum in das Tierwohl. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Prognose der Handelsklasse durch frühzeitige biologische Indikatoren und Maschinelle Lernverfahren geleistet.

6 Danksagung

Das Projekt „Landwirtschaft 4.0: Info-System“ wird finanziert aus Geldern des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Die Autoren danken den Mitarbeitern der Landesanstalt für Schweinezucht LSZ für ihre Unterstützung und Beratung während der Experimente und Bereitstellung des Datensatzes. Besonderer Dank geht an Günter Lenkner, Lilljana Pyrkotsch und Hansjörg Schrade.

Literaturverzeichnis

- [BeY12] Bergstra, J. ; Y., Bengio: Random Search for Hyper-Parameter Optimization. In: *Journal of Machine Learning Research* Bd. 13 (2012), S. 281-305.
- [Brei01] Breiman, L.: Random Forests. In: *Machine Learning* Bd. 45 (2001), S. 5-32.

- [Bu16] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: *Deutschland, wie es isst - Der BMEL-Ernährungsreport 2016*, 2016.
- [Bo07] Botreau, R ; Veissier, I.; Butterworth, A. ; Keeling, M. B. M.; J., Bracke, L.: Definition of criteria for overall assessment of animal welfare. In: *Animal Welfare* Bd. 16 (2007), S. 225-228.
- [CV95] Cortes, C. ; Vapnik, V.: Support-Vector Networks. In: *Machine Learning* Bd. 20 (1995), S. 273-297.
- [Di17] Díaz, J. A. C. ; Boyle, L. A. ; Diana, A. ; Leonard, F. C. ; Moriarty, J. P. ; McElroy, M. C. ; McGettrick, S. ; Kelliher, D. ; u. a.: Early life indicators predict mortality, illness, reduced welfare and carcass characteristics in finisher pigs. In: *Preventive Veterinary Medicine* Bd. 146 (2017), S. 94-102.
- [Eu11] Europäische Union: Änderung der Entscheidung 89/471/EWG zur Zulassung von Verfahren der Einstufung von Schweineschlachtkörpern in Deutschland - Aktenzeichen K(2011) 2709, 2011.
- [HCL03] Hsu, C.-W. ; Chang, C.-C. ; Lin, C.-J.: *A Practical Guide to Support Vector Classification*, 2003.
- [JL5] John, G. H. ; Langley, P.: Estimating continuous distributions in Bayesian classifiers. In: *Proceedings of the Eleventh Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 1995, S. 338-345.
- [Ko95] Kohavi, R.: A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. In: *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1995, S. 1137-1143.
- [LWK08] Lin, C.-J. ; Wenig, R. C. ; Keerthi, S. S.: Trust Region Newton Method for Large-Scale Logistic Regression. In: *Journal of Machine Learning Research* Bd. 9 (2008), S. 627-650.
- [MaSc99] Manning, C. D. ; Schütze, H.: *Foundations of statistical natural language processing*, 1999.
- [Mi97] Mitchell, T.M.: *Machine Learning*. New York, New York, USA, 1997.
- [Ma16] Matthews, S. G. ; Miller, A. L. ; Clapp, J. ; Plötz, T. ; Kyriazakis, I: Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs. In: *The Veterinary Journal* Bd. 217 (2016), S. 43-51.
- [Sä18] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: *Jahresdurchschnittspreise Schweine Hkl. S-P*, 2018.
- [WFH11] Witten, I. H.; Frank, E.; Hall, M. A.: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 3. Amsterdam, 2011.
- [Wo96] Wolpert, D. H.: The Lack of A Priori Distinctions Between Learning Algorithms. In: *Neural Computation* Bd. 8 (1996), Nr. 7, S. 1341-1290.

Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige klein- strukturierte Landwirtschaft – DiWenkLa

Digitale Experimentierfelder in Baden-Württemberg (Antragsstatus: Förderwürdig)

Hans W. Griepentrog¹, Markus Frank² und Enno Bahrs³

Abstract: Baden-Württemberg (BW) ist ein Bundesland mit typisch kleinstrukturierter Landwirtschaft mit hohen Nebenerwerbs- und Sonderkulturanteilen. Auch für diese Betriebsstrukturen kann die Verfügbarkeit einfacher digitaler Entscheidungshilfen ein bedeutender Effizienzgewinn sein. Die Regionen Baden-Württembergs erscheinen als für ähnliche Regionen sehr geeignetes repräsentatives Experimentierfeld für neue, nachhaltig orientierte und digitalisierte Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungsketten landwirtschaftlicher Produkte und Dienstleistungen. Dabei stehen die Produkte und dazugehörigen Dienstleistungen im Bereich von Kohl, Salat, Getreide, Soja, Rinder- sowie Pferdehaltung im Fokus. Sie sind typisch für die ausgewählten Experimentierregionen südlicher Schwarzwald sowie für die Metropolregion Stuttgart.

Keywords: Digitale Experimentierfelder, kleinstrukturierte Landwirtschaft

1 Einleitung

Baden-Württemberg (BW) ist ein Bundesland mit typisch kleinstrukturierter Landwirtschaft, sowohl bezüglich der Parzellen- als auch der Betriebsgrößen. Weiterhin ist BW durch hohe Nebenerwerbs- und Sonderkulturanteile geprägt [LEL19]. Eine Vielzahl an Wirtschaftspartnern in der Produktion mit Vorleistungen sowie der aufnehmenden Hand und Digitaldienstleistern bis zum Handel sind im Projekt integriert. Dies soll auch Landwirten in Kleinstrukturen erlauben, mit geringen Kosten einen wertschöpfungssteigernden und selbstbestimmten sowie sicheren Zugang zur Verarbeitung, zum Handel sowie zum Endkonsumenten zu erhalten. Denn kleinstrukturierte Rahmenbedingungen könnten die Einführung von Digital bzw. Smart Farming erschweren. Die Bereitschaft, in neue Technologien zu investieren, ist folglich geringer als in Regionen mit vergleichsweise größerer Flächen- und Betriebsstruktur. Es ist jedoch davon auszugehen, dass für kleine Betriebsstrukturen die Verfügbarkeit einfacher digitaler Entscheidungshilfen, die flächenspezifisch und zeitnah Empfehlungen für das Management sowie die

¹ Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart,
hw.griepentrog@uni-hohenheim.de

² HfWU Nürtingen, Fachgebiet Agrarsysteme der Zukunft, Marktstr. 16, 72622 Nürtingen,
Markus.Frank@hfwu.de

³ Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Schwerzstraße 44, 70599 Stuttgart,
bahrs@uni-hohenheim.de

Ertrags- und Qualitätserwartung geben, bedeutende Effizienzgewinne implizieren können [Gr19].

Die Regionen Baden-Württembergs erscheinen als für ähnliche Regionen sehr geeignetes repräsentatives Experimentierfeld für neue, nachhaltig orientierte und digitalisierte Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungsketten landwirtschaftlicher Produkte und Dienstleistungen. Dabei stehen die Produkte und dazugehörigen Dienstleistungen im Bereich von Kohl, Salat, Getreide, Soja, Rinder- sowie Pferdehaltung im Fokus. Sie sind typisch für die ausgewählten Experimentierregionen südlicher Schwarzwald sowie für die Metropolregion Stuttgart. Sie alle werden in digitale Experimentiereinheiten mit Unterstützung von landwirtschaftlichen Praxisbetrieben sowie Versuchseinheiten ortsansässiger Forschungseinrichtungen integriert. Den Wirtschaftspartnern stehen zur Erprobung digitaler Technologien aus den Bereichen Automatisierung der Außenwirtschaft, Pflanzenbaumodellierung, Nachhaltigkeits-, Zertifizierungs- sowie Fütterungs- und Tierbestandsmanagement und Drohnentechnik zur Erprobung offen. Sie gewährleisten eine resiliente digitale Abbildung in vollständigen Wertschöpfungsketten vom Landwirt bis zum Endverbraucher bzw. -nutzer.

2 Projektstruktur und Inhalt

2.1 Großraum Stuttgart: Eigenschaften und Experimentierziele in einer Region mit guten Digitalisierungsbedingungen

Die Metropolregion Stuttgart mit der Filderebene ist durch einen hohen Anteil an Sonderkulturen geprägt, bei der verstärkt Salate und Kohl konventionell und ökologisch in intensiven Verfahren angebaut werden. Diese Produkte zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Arbeitsintensität je Hektar aus, die ein hohes Potenzial bieten, Arbeitskraft durch Kapital zu ersetzen, insbesondere bei Ernteprozessen. Darüber hinaus sind diese Produkte hohen Anforderungsprofilen an Frische mit zügigen Vermarktungsnotwendigkeiten unterworfen, bei denen eine noch bessere Logistik Spielräume für digitale Weiterentwicklungen bietet. Weiterhin ist ein vergleichsweise hoher Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln für diese Sonderkulturen kennzeichnend, den es, auch im Sinne einer zukünftigen Ackerbaustrategie, zu reduzieren gilt. Auch hier bieten digital unterstützte Technologien erhebliche Verbesserungsmöglichkeiten. Vor diesem Hintergrund wird für die Produkte Salat (wahrscheinlich Eissalat) und Kohl (wahrscheinlich Filderkraut bzw. Spitzkohl) ein Experimentierfeld in der Filderregion eingerichtet, bei dem die Schwerpunkte Pflanzenschutz (Ökologisierung), Ernteautomatisierung (Reduktion menschlicher Arbeitsintensität) sowie Rückverfolgbarkeit, Transparenz mit automatisierten Zertifizierungsansätzen und potenzielle neue Geschäftsmodelle im Mittelpunkt stehen.

Allerdings können die zuvor genannten Sonderkulturen nicht durchgehend angebaut werden. Sie stehen in Fruchtfolgen, vielfach mit Getreide oder zukünftig evtl. zuneh-

mend auch Soja. Speziell für diese Kulturen stehen standortangepasste N-Düngungen, Ertrags- und Qualitätsabschätzung auf heterogenen Kleinstschlägen sowie darauf aufbauend die Planung der Erntelogistiken basierend auf Ertragshöhe und resultierender Erntequalität im Analysefokus. Für diese Experimente bzw. Analysen werden Versuchsfelder der in dieser Region angesiedelten Hochschulen sowie Ackerflächen von Landwirten der Region genutzt und in die Betriebsabläufe integriert. Dabei ist sichergestellt, dass die ausgewählten Betriebsleiter/innen jeweils Multiplikatorenwirkung in der Region aufweisen. Gemeinsam mit Fachgebieten der UHOH und der HfWU sowie den beteiligten Landesanstalten werden adäquate Experimentierabläufe für alle interessierten Experimentierstellen bei den beschriebenen Kulturarten sichergestellt.

Darüber hinaus wird in der Metropolregion Stuttgart das Nutz- und Freizeittier Pferd in Verbindung mit landwirtschaftlichen Unternehmen in den Fokus gestellt. Von den ca. 1 Million Pferden in Deutschland steht ein erheblicher Teil in Baden-Württemberg (über 100.000 Pferde). Speziell in den Metropolregionen wie z. B. Stuttgart stehen überdurchschnittlich viele Pferde als Freizeittiere, welche auch ein Instrument der Einkommensdiversifizierung für Landwirte darstellen [LEL19]. Mit den Pferden sind vielfältige aber häufig auch arbeitsintensive Wertschöpfungsprozesse verbunden, die bislang wenig digitalisiert sind und damit ein großes Digitalisierungspotenzial aufweisen. Dies betrifft besonders das Experimentierfeld Stall aber auch das Experimentierfeld Grünland.

2.2 Südschwarzwald: Eigenschaften und Experimentierziele in einer Region mit unterdurchschnittlichen Digitalisierungsbedingungen

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, zeigen erhebliche Ansatzpotenziale für digitale Unterstützungsmöglichkeiten. Gleichmaßen bietet diese Region reichhaltige Weidemöglichkeiten für eine tierwohlgerichte Rinderhaltung, wie sie für Mittelgebirgslagen mit hohen Grünlandanteilen typisch sind. Vor diesem Hintergrund werden an ausgesuchten Grünlandstandorten regional ansässiger Landwirte digitale Rahmenbedingungen des Experimentierens angeboten, die dazu beitragen sollen, die Nutzung des Grünlands mit dazugehörigen Produkten aus der Rinderhaltung sowohl effizienter als auch noch naturnaher, mit einem bedarfsgerechteren Tiermanagement zu gestalten. Diese stärker digitalisierte, weidebasierte Rinderhaltung soll eine naturnähere, aber dennoch gut für Fütterungszwecke verwertbare Weide mit angepasster digital unterstützter Mechanisierung und Entscheidungshilfe- sowie Managementsystemen ermöglichen. Gleichzeitig soll diese Form der Rinderhaltung in dem zukünftig von der Bundesregierung geplanten Tierwohllabel besser digital integriert werden. Durch die sensorbasierte Erfassung und Bewertung der Rinderhaltung auf der Weide erfolgt eine Unterstützung der Erhebung, Dokumentation und Entwicklung von Tierwohllindikatoren sowie der Integration dieser Produkte aus der Rinderhaltung in ein Tierwohllabel durch leicht erhebbare digitalisierte

Nachweise. Damit soll gleichermaßen eine verbesserte Vermarktbarkeit sichergestellt werden. Für eine Mittelgebirgsregion wie den Südschwarzwald wird es dabei von besonderer Bedeutung sein, terrestrische oder satellitengebundene Kommunikationstechnologien bzw. Datennetze zu nutzen, die wahrscheinlich nicht den Standard und die Leistungsfähigkeit erreichen, wie sie für eine Metropolregion wie Stuttgart maßgeblich sein können. Besonders in der Außenwirtschaft mit dem Weidemanagement könnten Technologien wie Low Power Wide Area Datennetze bedeutend sein, um mit wenig Energieaufwand hohe Datenmengen zu übertragen. Somit geht es in dieser Region auch um bestmögliche technologische Anpassungen an die IT-Infrastruktur bzw. Datenübertragungstechniken einerseits sowie auch der Anwendungen der Sensorik und Farm Management Systeme (FMS) an suboptimale digitale Rahmenbedingungen andererseits.



Abb. 1: Projektstrukturen und Regionen mit den Experimentiereinheiten und Zielsetzungen im Kontext der Zielprodukte sowie den Rahmenprojekten

2.3 Projektstruktur

Die Abbildung 1 verdeutlicht den Aufbau des Experimentierfeldes, in dem die zwei Modellregionen Stuttgart und Südschwarzwald aufgehen. Dabei werden drei Experimentiereinheiten (Grünland, Ackerland sowie der Pferdestall) unterschieden, die sich auf vier Zielprodukt- bzw. Dienstleistungskategorien fokussieren, die für die zwei Regionen typisch sind. Dabei handelt es sich um (1) Ackerland- bzw. Feldgemüse (mit Kohl und Salat), (2) um andere Ackerkulturen (Getreide und Soja), (3) um Produkte der Rinderhaltung im Kontext der Grünlandbewirtschaftung sowie (4) um Dienstleistungen in der

Freizeitpferdehaltung. Produkte aus der Rinderhaltung mit Grünlandbewirtschaftung werden der Fokus in der Region Südschwarzwald sein, während die weiteren Produkte bzw. Dienstleistungen der Metropolregion Stuttgart zuzuordnen sind.

Nr.	Partner	Inhalt
1	Frank, Braun, Müller-Lindenlauf	Ökologische Begleitforschung, wertschöpfungskettenorientiertes Nachhaltigkeitsmanagement
2	Doluschitz, Schüle	Ökonomische und betriebswirtschaftliche Begleitforschung
3	Knierim, Schüle, Thomas	Sozioökonomische Begleitforschung
4	Schüle, Thomas, Knierim	Wissenstransfer
5	Gerhards	Sensorgesteuerte Hack- und Striegeltechnik
6	Vögele	Cloud-basiertes Monitoringsystem Pflanzenkrankheiten
7	Griepentrog	Automatisierte Bestandsführungen und Erntemaßnahmen
8	Pfenning	Vorbereitungen Praxisbetriebe und Versuchsflächen, Messung abiotischer Einflussfaktoren
9	Graeff, Pekrun, Frank	Ressourceneffiziente Düngerausbringung, bessere Pflanzenschutz- und Ernteplanung
10	Kirn, Klein	Maschinelles Lernen rinderbasierte Weidehaltung
11	Böttinger	Grünlandbewirtschaftung und -management
12	Dickhöfer	Weidemanagement und Tierfütterung
13	Winter, Benz, Krüger	Pferdewirtschaft
14	Bahrs	Koordination

Abb. 2: Übersicht der Teilprojekte mit Partnernamen und Inhalten

2.4 Arbeitspakete

Die Teilprojekte des Experimentierfelds mit ihren jeweiligen Forschungspartnern sind in Abbildung 2 dargestellt. Sie stellen den Experimentierrahmen zusammen mit den Wirtschaftspartnern dar. Die Wirtschaftspartner bringen ihre Technologien sowie ihre Expertise in Eigenleistung ein. Das Experimentierfeld ist dabei auch für weitere Wirtschaftspartner offen.

3 Partner

Insgesamt sind am Projekt zu finanzierende Forschungspartner der Universität Hohenheim (UHOH) und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

(HfWU) beteiligt, die in Abbildung 3 alphabetisch mit Fachgebiets- und Institutionsangehörigkeit sowie Teilprojektzuordnung (TP) aufgelistet werden.

Name	Fachgebiet	Institution	TP
Bahrs, Enno Prof. Dr.	Landwirtschaftliche Betriebslehre	UHOH	14
Benz, Barbara Prof. Dr.	Tierhaltung und Technik in der Innenwirtschaft	HfWU	13
Böttlinger, Stefan Prof. Dr.-Ing.	Grundlagen der Agrartechnik	UHOH	11
Braun, Jürgen Prof. Dr.	Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft	HfWU	1
Dickhöfer, Uta Prof. Dr.	Tierernährung und Weidewirtschaft in den Tropen und Subtropen	UHOH	12
Doluschitz, Reiner Prof. Dr.	Agrarinformatik und Unternehmensführung	UHOH	2
Frank, Markus Prof. Dr.	Agrarsysteme der Zukunft	HfWU	1,2,10,11
Gerhards, Roland Prof. Dr.	Herbologie	UHOH	5
Graeff-Hönniger, Simone Prof. Dr.	Allgemeiner Pflanzenbau	UHOH	9
Griepentrog, Hans-Werner Prof. Dr.	Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion	UHOH	7
Kirn, Stefan Prof. Dr.	Wirtschaftsinformatik	UHOH	10
Knierim, Andrea Jun.-Prof. Dr.	Ländliche Soziologie	UHOH	3,4
Krüger, Konstanze Prof. Dr.	Pferdehaltung	HfWU	13
Müller-Lindenlauf, Maria Prof. Dr.	Agrarökologie und Ökologischen Landbau	HfWU	1
Pekrun, Carola Prof. Dr.	Pflanzenbau und Qualitätsmanagement	HfWU	9
Pfenning, Judit Dr.	Allgemeiner Pflanzenbau, Gemüsebau	UHOH	8
Schüle, Heinrich Prof. Dr.	Landwirtschaftliche Betriebslehre	HfWU	2,4
Thomas, Angelika Dr.	Institut für Angewandte Agrarforschung	HfWU	3,4
Vögele, Ralf Prof. Dr.	Phytopathologie	UHOH	6
Winter, Dirk Prof. Dr.	Pferdehaltung	HfWU	13

Abb. 3: Forschungspartner des Experimentierfelds BW mit Fachgebiets-, Institutions- und TP-Bezeichnung

Teilnehmende Praxis- und Wirtschaftspartner: 365FarmNet, Bosch, GlobalG.A.P., BASF, Gemüsering, KULT Kress, Hatzenbichler, InMach, LuxFlux, Fa. Aldinger-Technik, Claas Saalgau GmbH, Itin+Hoch GmbH, True North Technologies, fodjan GmbH, Trow Nutrition, Bosch deepfield connect, Acclaro, Schauer, Hau, Colicheck, Ako sowie verschiedene Dienstleistungspartner.

Literaturverzeichnis

- [LE19] Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2017/18. Heft 67, Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum (LEL), Schwäbisch Gmünd, März 2019
- [Gr19] Griepentrog, H.W.: Digitalisierung in der Landwirtschaft - Wichtige Zusammenhänge kurz erklärt. DLG-Merkblatt 447. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V. (DLG), Frankfurt a.M., 2019

Digitales Experimentierfeld Diabek

Digitalisierung anwenden, bewerten und kommunizieren

Patrick Noack¹, Peter Breunig² und Bernhard Bauer³

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 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 [Au12].

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16 ,91746 Weidenbach, patrick.noack@hswt.de

² Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16 ,91746 Weidenbach, peter.breunig@hswt.de

³ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Markgrafenstr. 16 ,91746 Weidenbach, bernhard.bauer@hswt.de

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 landwirtschaftliche Produktion transparenter gestalten können und die aktive Kommunikation über aktuelle Entwicklungen 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.

2.1 Entwicklung von Ansätzen zur stärkeren Verbreitung des Einsatzes digitaler Technologien auf landwirtschaftlichen Betrieben

Seit Ende der 1990er Jahre befinden sich eine Reihe digitaler Produkte und Lösungen für den Einsatz in landwirtschaftlichen Betrieben auf dem Markt [Au01]. Die Entwicklung neuer Angebote durch Unternehmen im vorgelagerten Bereich hat sich seit Mitte der 2000er Jahre deutlich beschleunigt.

Ursache hierfür ist zum einen die exponentiell steigende Leistungsfähigkeit technischer Komponenten wie Prozessoren, digitaler Speicher, Netzwerke und einer Vielzahl von Sensoren in Kombination mit signifikant gesunkenen Kosten [TP06]. Zum anderen sind die Investitionen in Forschung und Entwicklung der privaten Wirtschaft im Bereich digitaler Lösungen insbesondere in den letzten 5-10 Jahren deutlich gestiegen.

Der Einsatz dieser Lösungen durch landwirtschaftliche Betriebe verläuft jedoch deutlich langsamer: Bisher finden in erster Linie Lenksysteme und Systeme zur automatischen Teilbreitenschaltung eine relative hohe Verbreitung, zumeist bei größeren Betrieben [Ku11]. Lösungen zur teilflächenspezifischen Ausbringung von Düngemitteln oder

anderen Inputs sind beispielsweise deutlich weniger verbreitet, zumeist nur auf Betrieben von sog. Early Adopters. Dies ist umso bemerkenswerter, da die Investitionskosten für Technologien zur teilflächenspezifischen Ausbringung in den letzten Jahren deutlich gesunken sind und die Vorteile in diversen Forschungsprojekten nachgewiesen wurden [Vi19; Ka18].

Die Ursache für die geringe Adoption wird in folgenden Hindernissen vermutet: technische Herausforderungen bei der Implementierung (Einstiegschürde), fehlende Kompetenz bei pflanzenbaulichen Entscheidungen im Zusammenhang mit digitalen Lösungen und unzureichendes Wissen über den Nutzen digitaler Lösungen.

Die drei genannten Ursachen sind wesentlich für die geringe Adoption vieler digitaler Lösungen in der Landwirtschaft verantwortlich. In Kombination mit der immer schnelleren Entwicklung neuer digitaler Lösungen auf Seiten der Anbieter besteht eine zunehmende Adoptionslücke.

Ein Teilziel dieses Projektes ist es, Ansätze aufzuzeigen, die die drei oben genannten Herausforderungen reduzieren und zu einer signifikanten Zunahme des Einsatzes digitaler Lösungen in der landwirtschaftlichen Praxis führen können.

2.2 Bewertung digitaler Lösungen im Hinblick auf Umwelt- und Ressourcenschutz und Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz moderner landwirtschaftlicher Anbausysteme

Digitale Technologien wie die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, automatische Teilbreiten- bzw. Reihenschaltung und automatische Lenksysteme führen dazu, eine über den Bedarf einer Teilfläche hinausgehende Applikation von Betriebsmitteln zu minimieren und die Produktivität des Maschineneinsatzes zu erhöhen. Dies führt in vielen Fällen zu ökonomischen Vorteilen. Neben einer verbesserten Wirtschaftlichkeit ermöglichen diese Effekte auch ökologische Vorteile.

Diese sind in drei Bereichen zu erwarten: Steigerung der Ressourceneffizienz, Reduktion von Emissionen und Rückständen und Erhöhung der Artenvielfalt durch neue Anbausysteme.

Konventionelle Ackerbausysteme sind derzeit mit einer relativ geringen gesellschaftlichen Akzeptanz konfrontiert. Wie oben dargestellt, gibt es eine Reihe von digitalen Lösungen, durch die eine Verbesserung der ökologischen Auswirkungen des konventionellen Pflanzenbaus ermöglicht werden könnte. Bisher existieren jedoch nur wenige Konzepte, um diese Vorteile gegenüber der Öffentlichkeit zu kommunizieren und damit eine höhere Akzeptanz konventioneller Ackerbausysteme zu erreichen.

Das Ziel des Teilprojekts ist es, digitale Lösungen im Hinblick auf Umwelt- und Ressourcenschutz zu bewerten sowie Potenziale zur Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz moderner, digitalisierter landwirtschaftlicher Anbausysteme zu identifizieren.

2.3 Entwicklung von Ansätzen zum Wissenstransfer und kontinuierlicher Weiterbildung in der landwirtschaftlichen Praxis

Auf der Basis der Erfahrungen bei der Einführung von digitalen Methoden in ausgewählten Betrieben werden Schulungsprogramme entwickelt, mit deren Hilfe der Einstieg in den Bereich der teilflächenspezifischen Landwirtschaft in Betrieben erleichtert werden kann.

Die geplanten Schulungsprogramme sind so aufgebaut, dass die Grundkenntnisse der Digitalisierung durch web-basierte Portale vermittelt werden. Betriebsspezifische oder ausstattungspezifische Details sollen in Seminaren und Workshops adressiert werden. Ein Schwerpunkt des Wissenstransferangebots soll auf der Nutzbarmachung von Open Source Ressourcen zur Optimierung der Anbautechnik liegen.

3 Ausgewählte Arbeitspakete

Für die Erreichung der Ziele werden die Aufgaben in unterschiedliche Arbeitspakete unterteilt.

3.1 Umsetzung digitaler Lösungen auf ausgewählten Praxisbetrieben

In diesem Arbeitspaket liegt der Fokus auf der technischen Umsetzung, der Nutzbarmachung pflanzenbaulicher Grundlagen und Entscheidungsmodellen zur Optimierung von Produktionssystemen. Dazu wird in der ersten Projektphase (1. Jahr) auf ausgewählten Testbetrieben die vorhandene Ausstattung und der Stand der Umsetzung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungskonzepte erfasst und evaluiert. Aus der Ist-Analyse wird zusammen mit den Betriebsleitern ein Entwicklungsplan für die Projektlaufzeit erstellt. Die Betriebsleiter werden in den Folgejahren (Projektjahr 2+3) durch Projektmitarbeiter bei der Inbetriebnahme und bei der Umsetzung unterstützt.

3.2 Evaluierung der eingesetzten digitalen Methoden

In diesem Arbeitspaket liegt der Fokus auf der Evaluierung der im oben genannten Arbeitspaket gewählten Strategien und Techniken auf der Basis von Methoden des On-Farm-Research. Es ist geplant, Streifenversuche zur Erfolgskontrolle auf den Betrieben durchzuführen, um auf der gewonnenen betrieblichen Datenbasis das Vertrauen des Betriebsleiters in die gewählten digitalen Techniken zu stärken.

3.3 Bewertung digitaler Lösungen im Hinblick auf Umwelt- und Ressourcenschutz auf ausgewählten Praxisbetrieben

Auf der Basis der oben genannten Arbeitspakete wird eine betriebsindividuelle und verfahrensindividuelle Bewertung des Optimierungspotenzials, das durch digitale Techniken in der Praxis ermöglicht werden kann, in Bezug auf die Ressourceneffizienz (Nährstoffnutzungseffizienz, Nährstoffbilanzen, N_{\min} -Werte, Effizienz des Pflanzenschutzmittel-Einsatzes, etc.) ermittelt und die Auswirkungen auf die Umwelt abgeleitet oder durch die Quantifizierung von Zeigerarten (Segetalflora, Insekten, etc.) bewertet.

3.4 Verbraucherbefragung und Kommunikationskonzepte

Die Integration von digitalen Technologien in die Landbewirtschaftung bietet neben der Optimierung des Pflanzenbaus und Ressourcenschutzes auch Chancen zur Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz konventioneller Anbausysteme. Dieses Arbeitspaket umfasst die Analyse von gesellschaftlichen Einstellungen und Erwartungen bezüglich digitaler Lösungen in der Landwirtschaft und die Entwicklung eines entsprechenden Kommunikationskonzepts.

3.5 Entwicklung und Umsetzung von Schulungen und Workshops für Landwirte

In diesem Arbeitspaket steht der Wissenstransfer aus den beteiligten Betrieben und den etablierten „Experimentierfeldern“ in die Breite der landwirtschaftlichen Praxis im Fokus. Auf der Basis der oben stehenden Arbeitspakete werden Schulungsprogramme entwickelt, die von den Grundzügen und Potenzialen der Digitalisierung der Landwirtschaft für interessierte Laien (Verbraucher), über die Adoption von einzelnen losgelösten Techniken für Einsteiger und Profis in die digitale Landwirtschaft bis hin zu der komplexen Integration von mehrfaktoriellen Entscheidungsnetzen in Betrieben reichen.

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

- [Au12] 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. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>, 2012.
- [Au01] Auernhammer, H.: Precision farming - The environmental challenge. *Comput. Electron. Agric.* 30, 31-43. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00153-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00153-8). 2001.
- [Vi19] Vinzent, B., Mairl, M., Münster, S. & G.M.: Überbetrieblicher Einsatz eines Sensorsystems zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung - Digitale Bibliothek - Gesellschaft für Informatik e.V. pp. 263-268, 2019.
- [Ka18] Karatay, Y.N., Meyer-Aurich, A., Gandorfer, M.: Ökonomik der teilflächenspezifischen N-Düngung von Weizen unter Berücksichtigung von Qualität, Risiko und N-Düngerrestriktionen. *Lect. Notes Informatics (LNI), Proc. - Ser. Gesellschaft für Inform.* P278, 135-138, 2018.
- [Ku11] Kutter, T., Tiemann, S., Siebert, R., Fountas, S.: The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. *Precis. Agric.* 12, 2-17. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9150-0>, 2011.
- [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. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0018-1>, 2014.
- [Sp15] Spiller, A., Gauly, M., Balmann, A., Bausch, 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*. <https://doi.org/10.12767/BUEL.V0I221.82>, 2015.
- [TB12] Tey, Y.S., Brindal, M.: Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precis. Agric.* <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>, 2012.
- [TP06] Thompson, S.E., Parthasarathy, S.: Moore's law: the future of Si microelectronics. *Mater. Today* 9, 20-25. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(06\)71539-5](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(06)71539-5), 2006.

Betriebsleitung und Stoffstrommanagement – Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein (BeSt-SH)

Yves Reckleben¹, Jan-Henrik Ferdinand¹, Eberhard Hartung², Bernd Irps³, Klaus Drescher⁴ und Carsten Henze⁵

Abstract: Das Ziel des Experimentierfelds besteht in der Befähigung landwirtschaftlicher Betriebe für eine Identifikation individueller praktischer Fragestellungen und der darauf aufbauenden ökonomischen und ökologischen Bewertungen angebotener digitaler Lösungen. Durch den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Aus- und Weiterbildung sowie der Politik und Praxis in arbeitsteiliger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft soll die digitale Transformation in der Agrarwirtschaft durch ein nachhaltiges Kompetenzmanagement etabliert und – darauf aufbauend – Innovationsimpulse für Forschung und Unternehmen geschaffen werden. Entgegen den gängigen Geschäftsmodellen, in denen sich die Betriebsleitung mit technischen Lösungen einzelner Anbieter konfrontiert sieht, die nach Anwendungsfeldern suchen (produktorientiert), verfolgt das Experimentierfeld den Ansatz, durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit die landwirtschaftliche Problemstellung in eine technische Lösung zu überführen (benutzerorientiert).

1 Einleitung

Die Digitalisierung entwickelt sich zu einer großen Herausforderung für die heutige Landwirtschaft. Die Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter mit ihren Familien sehen sich in einer globalisierten Agrarwirtschaft mit neuartigen technischen Fortschritten konfrontiert. Der bisherige Strukturwandel droht sich zu verschärfen und erfordert angepasste Managementkonzepte zum Erhalt der betrieblichen Wettbewerbsfähigkeit. Im Mittelpunkt muss deshalb zukünftig eine regionale Vernetzung der verschiedenen landwirtschaftlichen Produktionsprozesse in der Wertschöpfungskette stehen. Dies erfordert mehr denn je eine kontrollintensive dynamische Betriebsleitung. Durch eine digital unterstützte Steuerung, Regelung, Überwachung und Automation der zugrundeliegenden Stoffströme kann dieses Management zukünftig eine effiziente und nachhaltige Pflanzen- und Tierproduktion gewährleisten.

¹ Fachhochschule Kiel – Fachbereich Agrarwirtschaft, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld, yves.reckleben@fh-kiel.de, jan-henrik.ferdinand@fh-kiel.de

² Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Olshausenstraße 40, 24098 Kiel, ehartung@ilv.uni-kiel.de

³ Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Grüner Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, birps@lksh.de

⁴ DEULA Schleswig-Holstein GmbH, Grüner Kamp 13, 24768 Rendsburg, klaus.drescher@deula.de

⁵ Berufsbildungszentrum am Nord-Ostsee-Kanal – Europaschule, Herrenstraße 30-32, 24768 Rendsburg, c.henze@bbz-nok.de

Mit der wachsenden Anzahl an digitalen Lösungen in diesen Produktionsverfahren der Agrarwirtschaft gehen steigende Datenmengen einher. Die richtige Nutzung dieser erhobenen Daten entscheidet über eine erfolgreiche Implementierung moderner, zukunftsweisender Technologien in der landwirtschaftlichen Praxis. Zur Umsetzung der digitalen Wertschöpfung benötigt man zweck- und handlungsbezogene Inhalte, um aus den produzierten Daten passende Informationen und hierdurch nutzbares Wissen zu generieren, welches zu präzisen und fundierten Handlungen in der landwirtschaftlichen Praxis führt. Ausschlaggebend hierfür ist nicht nur die Vernetzung der eingesetzten Technik, sondern vielmehr ein effektiver und standardisierter Austausch der einzelnen Akteure innerhalb dieser digitalen Wertschöpfungskette.

Zentrales Ziel einer angestrebten vernetzten Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein ist die Entwicklung einer Infrastruktur, welche die Stoffströme in Form von Nährstoffen, Energie und Arbeit entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette mit ihren Datenanforderungen darstellt und in einem gemeinsamen Datenlexikon zusammenführt.

Diese landwirtschaftliche Wertschöpfungskette wird aus verschiedenen Bereichen beeinflusst. Neben den direkten Einflüssen durch neue Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung als auch durch die Aus- und Weiterbildung als Handlungsrahmen moderner Technologien in der Praxis legt auch die Politik mit den entsprechenden Gesetzgebungen die tatsächliche Effektivität der digitalen Prozessketten fest.

Im Rahmen des Experimentierfelds wird ein digitales Stoffstrommodell entwickelt, welches relevante Daten durch eine einheitliche Semantik innerhalb der Nährstoff-, Energie-, Arbeitszeit- und Güterströme miteinander verknüpft. Die neue Infrastruktur stellt somit die Stoffströme entlang der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette mit ihren Datenanforderungen dar und standardisiert diese in einem gemeinsamen Datenlexikon. Die vielseitige Agrarlandschaft Schleswig-Holsteins bietet mit drei Natur- und Landschaftsräumen, dem Nord- und Ostseeinfluss, einem gut vernetzten landwirtschaftlichen Betriebsnetzwerk, breit aufgestellten vor- und nachgelagerten Bereichen als auch mit optimalen Anbindungen an Skandinavien und das Baltikum die idealen infrastrukturellen Voraussetzungen, dieses Stoffstrommodell ganzheitlich abzubilden.

Das Leistungsportfolio des Experimentierfelds in Schleswig-Holstein besteht aus fünf Arbeitspaketen, die untereinander zusammenhängen und zur Abbildung der Stoffströme entlang der Wertschöpfungskette beitragen. Auf Basis des AP1 Virtuelles Stoffstrommodell werden zu Anfang in AP2 Digitales Feld und AP3 Digitaler Stall Problemstellungen und Informationsanforderungen in der Innen- und Außenwirtschaft in Zusammenarbeit mit den landwirtschaftlichen Projektbetrieben identifiziert (Use Cases), welche daraufhin in den letztgenannten Arbeitspaketen AP2 Digitales Feld und AP3 Digitaler Stall mit Hilfe barrierefreier digitaler Lösungen bearbeitet werden (Tech Cases). Dabei findet eine detaillierte Analyse der einzelnen Informationsanbieter anhand der unterschiedlichen Anforderungen der Betriebsleitung sowohl auf den ökologischen als auch konventionellen Betrieben statt. Neben einer präzisen Adressierung technischer

Lösungen zu einzelnen praktischen Fragestellungen können so vor allem neue Innovationsimpulse für das KMU-Netzwerk, z. B. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum, generiert werden. Durch die enge Zusammenarbeit der Projektpartner können sukzessiv im Rahmen des Arbeitspaketes AP4 Interdisziplinärer Wissenstransfer präzise digitale Kompetenzen auf verschiedenen Ebenen mit Hilfe praktischer Fragestellungen generiert, vernetzt und koordiniert werden. Mit einem umfangreichen Kursangebot, welches je nach betrieblicher Fragestellung oder Informationstiefe gefiltert werden kann, passt sich der Lehrumfang dem digitalen Kompetenzlevel des Anwenders an.

Durch den Einbezug dreidimensionaler Analyse Werkzeuge (Mixed Reality) können z. B. die Mehrdimensionalität des Bodens oder die betrieblichen Arbeitsverfahren auf einem Milchviehbetrieb visualisiert werden. Eine Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung in dem Arbeitspaket AP5 Digitale Agrarverwaltung gewährleistet weiterhin eine enge Abstimmung bei dem Aufbau gesetzlicher Instrumente in der Landwirtschaft. So kann einem Komplexitäts- und Bürokratie-Zuwachs mit Hilfe einer Mehrfachnutzung von Datenpaketen unter Einhaltung des Datenschutzes entgegengewirkt und gleichzeitig die Konformität erhobener Praxisdaten, gerade in Bezug auf die zukünftige Stoffstrombilanzierung gemäß der Düngeverordnung, garantiert werden.

Über alle Arbeitspakete hinweg liegt die Hoheit der erhobenen Daten bei den jeweiligen Betrieben. Das Stoffstrommodell hat zum Ziel, qualitative und quantitative Datenanforderungen nutzerzentrierter Problemstellungen abzuleiten. Mit der Definition von Schnittstellen und einem Datenlexikon soll es digitalen Lösungen auf dem Markt ermöglicht werden, entsprechend angeforderte Daten bereitzustellen. Das Stoffstrommodell mit den entwickelten Auswertungsinstrumenten und virtuellen Darstellungen dient dabei nicht als Datenplattform, sondern vielmehr als Anwendungsoberfläche in Form eines Wissenstransfermodells. Somit sind es u. a. die dezentralen Speicherlösungen (z. B. GeoBox), welche die betriebliche Datensicherheit bereitstellen. Der Betrieb definiert zukünftig einzig eine Zugriffserlaubnis bestimmter Datenpakete über z. B. Formulare für das Stoffstrommodell (dem Landwirt, der Lehrkraft, dem Berater, dem Kontrolleur), aus denen anschließend auf Basis der fokussierten Anwendungsfälle eine ökologische / ökonomische Bewertung oder eine virtuelle Betriebsdarstellung resultiert. Das Stoffstrommodell ersetzt in keinem Entwicklungsschritt die Ackerschlagkartei, das Farm-Management-System, eine CC-Kontrolle oder die HIT-Liste des Betriebs. Alle Entwicklungen und Mechanismen, welche während der Projektlaufzeit erarbeitet werden, unterliegen der Publikationspflicht. Die betrieblichen Daten bleiben, soweit nicht anders beschlossen, betrieblich verschlossenes Eigentum.

Durch die Ausarbeitung dieser ganzheitlichen Dateninfrastruktur soll ein interdisziplinärer sowie transdisziplinärer Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Aus- und Weiterbildung sowie der Politik und Praxis ermöglicht werden, welcher die Digitalisierung nachhaltig in der Agrarwirtschaft Schleswig-Holsteins und Deutschlands etabliert. Außerdem kann auf diese Weise zusätzlich das wissensbasierte Verständnis der gesellschaftlichen

Anforderungen an die Landwirtschaft verstärkt werden. Aus regionaler Sicht wird das Experimentierfeld die digitale Transformation der schleswig-holsteinischen Agrarwirtschaft unter ökonomischen, ökologischen als auch technischen, organisatorischen und sozialen Gesichtspunkten fördern. Hierfür adressieren die geplanten Projekte fünf Schwerpunkte, die nachfolgend vorgestellt werden:

- Strategie- und Infrastrukturentwicklung (Datenmanagement)
- Virtuelle Technologieforschung (Informationsmanagement)
- Controlling- und Bewertungs-Mechanismen (Auswertungsmanagement)
- Digitale Aus- und Weiterbildung (Kompetenzmanagement)
- Nachhaltige digitale Transformation (Ressourcenmanagement)

2 Strategie- und Infrastrukturentwicklung (Datenmanagement)

In der heutigen Agrarwirtschaft sind Datenstandardisierungen Inselinitiativen einzelner industrieller Interessensverbände. Die Entwicklung eines ganzheitlichen Standards in der landwirtschaftlichen Innen- und Außenwirtschaft mit einer herstellerübergreifenden Infrastruktur ist für die Unternehmen nicht rentabel. Die Geschäftsmodelle sind dabei größtenteils produktorientiert, so dass der Fragestellung in der Praxis kein transparentes Informationsangebot aller Anbieter gegenübersteht. Folglich werden auf Seiten der Anwender digitale Lösungen nur zögerlich eingesetzt. Eine digitale Transformation tritt somit ebenfalls nur zögerlich ein, da die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Agrarverwaltung, der Aus- und Weiterbildung als auch der landwirtschaftlichen Forschung zusätzlich keiner gemeinsamen Strategie folgt. Dem Anwender steht in der Praxis demnach ein unsortiertes Datenvolumen gegenüber, aus dem er nur mit viel Aufwand und bürokratischen Hürden einen betriebsindividuellen Mehrwert generieren kann.

Mit der Ausarbeitung eines digitalen Wissenstransfermodells in Zusammenarbeit mit dem assoziierten Partner KTBL soll auf Grundlage von Datenströmen der Prozessketten in der landwirtschaftlichen Innen- und Außenwirtschaft eine Austauschplattform geschaffen werden, welche die Informationsstrukturen der einzelnen Partner des Experimentierfelds berücksichtigt. Hierbei sollen auf Basis der ausgearbeiteten Problemstellungen in der Praxis und den untersuchten digitalen Lösungsansätzen Datenmanagementkonzepte erarbeitet werden, welche als strategische Leitlinien für den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Bildung und der Praxis dienen.

Durch die Ausarbeitung einer einheitlichen Infrastruktur mit identifizierten Informationsanforderungen landwirtschaftlicher Fragestellungen können Standardisierungsanforderungen für die Industrie – entlang der Stoffströme – für einen Datenaustausch definiert werden. Mit der zusätzlichen Entwicklung / Bereitstellung von

Schnittstellen zur Agrarverwaltung kann ein ganzheitlicher Bürokratieabbau stattfinden, der den Kontrollaufwand auf beiden Seiten durch die digitale Mehrfachnutzung von Daten deutlich verringern wird.

3 Virtuelle Technologieforschung (Informationsmanagement)

Die Agrarforschung in Deutschlands Hochschulen ist seit Jahrzehnten fester Bestandteil des Wissenstransfers in die landwirtschaftliche Praxis. Durch die enge Verknüpfung mit Entwicklungsinitiativen aus der Wirtschaft adressieren die einzelnen Forschungseinrichtungen unterschiedliche Fragestellungen. Besonders die Forschungsförderungen basieren dabei auf divergenten Motivationen. Mit dem zunehmenden Einfluss der digitalen Transformation ändert sich der Fokus bisheriger Themenfelder. Dabei sind die Datenaufnahme, -verarbeitung und -auswertung die elementaren Werkzeuge aufkommender digitaler Fragestellungen. Obwohl die grundlegenden Problemstellungen in dieser digitalen Forschung überregional identisch sind, verhindert eine uneinheitliche Semantik nicht nur hochschulübergreifende Synergien, sondern vor allem die digitale Vernetzung unterschiedlichster Akteure in der Landwirtschaft und deren vor- und nachgelagerten Bereichen. Schlussendlich generiert erst die Verknüpfung von angewandter und Grundlagen-Forschung auf Basis einer gemeinsamen Wissensdatenbank die Kompetenz, welche digitale Lösungen nachhaltig in der Agrarwirtschaft etabliert.

Im Rahmen des Experimentierfelds Schleswig-Holstein soll ein Daten-Lexikon mit semantischen Standards ausgearbeitet werden, welches einerseits die Forschungsvorhaben in der Innen- und Außenwirtschaft verknüpft und es andererseits den weiteren Projektpartnern ermöglicht, die Datenanforderungen ihrer Problemstellungen zu identifizieren. Durch die ganzheitliche Semantik entlang der Stoffströme kann eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem gesamten landwirtschaftlichen Bildungswesen etabliert werden, um Forschungsergebnisse praxisverfügbar zu machen. Darüber hinaus ist das Daten-Lexikon eine essentielle Grundlage dafür, dass ein herstellerunabhängiger, vernetzter, digitaler Datenfluss zwischen unterschiedlichsten Akteuren im Bereich der Agrarwirtschaft sichergestellt werden kann. Die wissenschaftliche und praktische Überprüfung der entwickelten Semantik unter gegebenen Anwendungsfällen ist für das Schwerpunktfeld 2 im institutionell übergreifenden Ansatz (Uni / FH) von entscheidender Bedeutung für das erfolgreiche Modell und den Transfer in die Praxis.

4 Erfolgsaussichten

Mit Hilfe der Experimentierfelderergebnisse kann jeder Betrieb seine individuellen Fragestellungen identifizieren und sich Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen der Referenzbetriebe ableiten. Mittelfristig ist es vor allem der Markt der Produkte, welcher die besten Erfolgsaussichten hat. Die entwickelten Systeme sowie die Fragestellungen der

Landwirte erfordern eine fundierte Datengrundlage. Es kann folglich früh abgeschätzt werden, welche Hardwareentwicklung erforderlich ist, um die Datenanforderungen der Praxis zu erfüllen. Langfristig sind es vor allem die neuen Plattformökonomien, die den Erfolg des Experimentierfelds in die Wirtschaft überführen. Sie verbinden Systeme und Produkte, vernetzen Datenströme und schaffen so eine digitale Infrastruktur, welche Grundlage für eine Vielzahl digitaler Geschäftsmodelle ist. Gerade die Anwendergruppe der Dienstleister profitiert langfristig von den Synergien des Experimentierfelds. Mit der Vielzahl an Systemen und Produkten geht ein hoher Bedarf an Beratung einher. Die neuen Geschäftsmodelle der Plattformökonomien erfordern zudem eine Vielzahl an Serviceleistungen, um die Digitalisierung nachhaltig auf den landwirtschaftlichen Betrieben zu etablieren.

Kurzfristig profitiert die Wissenschaft vor allem von den Forschungssynergien, welche durch die Zusammenarbeit der Experimentierfelder entstehen. Durch eine Absprache der einzelnen Institutionen kann eine Überlappung der direkten Forschungsfelder vermieden werden. Im Bereich der Technik kann kurzfristig ein Marktüberblick geschaffen werden, der den allgemeinen Status Quo der digitalen Lösungen beschreibt. Mittelfristig kann aus den Experimentierfeldern der Aufbau einer Begleitforschung resultieren, welche durch die Einbindung weiterer Förderungsinitiativen zusätzliches digitales Know-How generiert, das über die eigentlichen Ziele des Experimentierfelds hinausgeht. Dies hätte eine inter- sowie transdisziplinäre Forschung zur Folge, welche auf der semantischen Grundlage des Experimentierfelds weitreichende wissenschaftliche Arbeiten verfassen könnte. Im technischen Bereich wird es mittelfristig möglich sein, einzelne digitale Lösungen mittels Bewertungsmatrix in eine mögliche Problemstellung einzuordnen. Demgegenüber kann abgeglichen werden, ob der identifizierten Datenanforderung die notwendige Technologie gegenübersteht.

Langfristig resultiert aus dem Experimentierfeld eine digitale Infrastruktur mit einer einheitlichen Forschungsdatenbank, welche nicht nur gemeinsame Forschungsstrategien bündelt, sondern vor allem die Lerninhalte und -methoden in der Bildung als auch Aus- und Weiterbildung anpasst bzw. erweitert. Im Bereich der Technik dient das Experimentierfeld als Innovations-Inkubator. Es identifiziert Lücken und Medienbrüche in der ganzheitlichen Datendarstellung der Innen- und Außenwirtschaft, so dass KMU oder etablierte Firmen weitergehende Business-Cases daraus ableiten können. Die Wirtschaft wird schlussendlich gefordert sein, funktionierende, vernetzte Ansätze anzubieten, um die Praxisanforderungen zu bedienen.

Experimentierfeld zur digitalen Transformation im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Agro-Nordwest)

Arno Ruckelshausen¹ und Robert Everwand²

Abstract: Im Rahmen der Ausschreibung „Experimentierfelder in der Landwirtschaft“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) wurde das „Experimentierfeld zur digitalen Transformation im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Agro-Nordwest)“ bewilligt und im Oktober 2019 gestartet. Der Beitrag enthält eine Zusammenfassung des Vorhabens und eine Beschreibung der Arbeitsziele.

Keywords: Pflanzenbau, digitale Transformation, Experimentierfeld

1 Gesamtziel des Experimentierfeldes Agro-Nordwest

Das Experimentierfeld Agro-Nordwest fokussiert die praxisorientierte digitale Transformation im Schwerpunkt Pflanzenbau. Unter den Aspekten Ökonomie, Ökologie und Integration des Menschen werden Probleme der heterogenen digitalen Infrastruktur, der variablen Netzabdeckung und der Änderungen in der Arbeitswelt adressiert. Vor diesem Hintergrund ist die frühzeitige Einbeziehung der Anwender wesentlicher Erfolgsfaktor für die Nutzung der Digitalisierung in der Landwirtschaft und Voraussetzung dafür, Potenziale besser zu erschließen und Risiken durch die Erprobung in realistischen Pilotanwendungen zu reduzieren. Daher wird Agro-Nordwest den Landwirt sowie dessen Betriebsumfeld in den Mittelpunkt stellen und bedarfsorientierte Lösungsansätze entwickeln. Die langfristige Verbindung ökonomischer und ökologischer Ziele durch die Digitalisierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse entlang der Wertschöpfungskette ist Gegenstand der Untersuchungen. Im Ergebnis soll ein Modell der digitalisierten, in das wirtschaftliche und soziale Ökosystem integrierten Landwirtschaft entstehen. Hierzu werden Versuchshofinfrastrukturen entwickelt, die als agrartechnische Testgelände diskriminierungsfrei der herstellerübergreifenden, anwendungsorientierten Forschung und Praxiserprobung innovativer Technologien dienen sollen. Die konkreten Projektschwerpunkte („PSP“) beziehen sich auf folgende Bereiche: Technologie (Wirtschaftlichkeit umweltgerechter Technologien), Mensch und Betrieb (Transformationsprozesse in die digitale landwirtschaftliche Produktion), Vernetzte Prozesse (Herstellerübergreifende Verfahrensketten), Digitale Entscheidungsunterstützung (Sensor- und datenbasierte Entscheidungshilfen im Pflanzenbau), Agrarsysteme der Zukunft (Praxis autonomer Feldrobotik) und Di-

¹ Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik/Competence Center of Applied Agricultural Engineering COALA, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

² Agrotech Valley Forum e.V., Am Schölerberg 1, 49082 Osnabrück, everwand@agritechnet.de

gitaler Qualifikation (Praxisnahe Konzepte zum Wissens- und Technologietransfer für verschiedene Zielgruppen). Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der Projektschwerpunkte mit den entsprechenden Anwendungen (“Use Cases“), Abbildung 2 die übergreifenden Arbeitsfelder.

PSP 1 Technologie	PSP 2 Mensch und Betrieb	PSP 3 Vernetzte Prozesse	PSP 4 Digitale Entscheidungsunterstützung	PSP 5 Agrarsysteme der Zukunft	PSP 6 Digitale Qualifikation
Wirtschaftlichkeit umweltgerechter Technologien	Transformationsprozesse in die digitale landwirtschaftliche Produktion	Herstellerübergreifende Verfahrensketten	Sensor- und datenbasierte Entscheidungshilfen im Pflanzenbau	Praxis autonomer Feldrobotik	Praxisnahe Konzepte zum Wissens- und Technologietransfer für verschiedene Zielgruppen
Pflanzenschutz und Düngung	Precision Farming für jedermann	Rübenenernte	Entscheidungsunterstützte Beikrautregulierung	Unkrautregulierung	Prozessorientiertes herstellerübergreifendes Schulungsprogramm
Datenermittlung	Arbeitswelt 4.0 in der Landwirtschaft	Erfassung und Optimierung von Nährstoffströmen in der Wertschöpfungskette	Grünlandbewirtschaftung	Fütterung	Adaptives E-Learning Modul
					Methoden für komplexe Produktionsnetzwerke
					Digitale Qualifikation für Berufsschullehrer

Abb. 1: Struktur der Projektschwerpunkte (PSP) mit den übergeordneten Themenbereichen (oben), dem Fokussierungsbereich (Mitte) sowie den jeweiligen Anwendungsfällen (“Use Cases“, unten).

Projektpartner sind: Agrotech Valley Forum e.V., Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), Hochschule Osnabrück, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH (izt) und die Universitäten Bochum und Osnabrück.

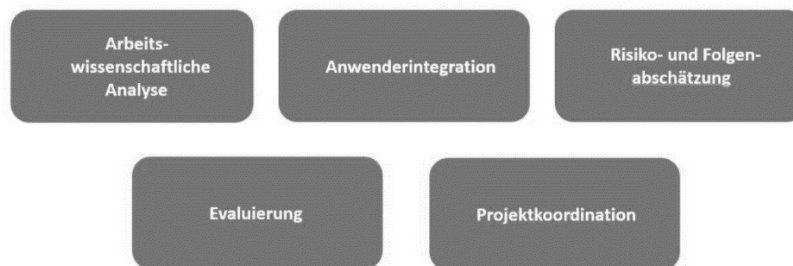


Abb. 2: Übergreifende Arbeitsfelder

2 Arbeitsziele des Vorhabens

Das landwirtschaftliche Betriebsumfeld und das Berufsbild des Landwirts werden sich durch die voranschreitende Digitalisierung in den nächsten Jahren rasant wandeln. Agro-

Nordwest wird daher den Landwirt im Schwerpunkt Pflanzenbau sowie dessen realistisches Betriebsumfeld in den Mittelpunkt stellen und bedarfsorientierte Lösungsansätze entwickeln. Dabei ist die frühzeitige Einbeziehung der Anwender ein Erfolgsfaktor für die Nutzung der Digitalisierungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft und Voraussetzung dafür, Potenziale besser zu erschließen und Risiken unbeabsichtigter Nebenfolgen durch die Erprobung in realistischen Pilotanwendungen präziser abschätzen zu können.

2.1 Verbesserung der landwirtschaftlichen Praxis

Hauptziel des Experimentierfeldes Agro-Nordwest ist die Verbesserung der landwirtschaftlichen Praxis zur Bewältigung technischer, ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Herausforderungen. Um die Erprobung von Innovationen und neuen Verfahrenstechniken für unterschiedliche Betriebsstrukturen zu ermöglichen, werden in enger und dauerhafter Kooperation mit praktizierenden landwirtschaftlichen Betrieben nachhaltige Versuchs- und Forschungsstrukturen etabliert. Durch den praktischen Einsatz neuer Technologien zur Prozessautomatisierung und -optimierung sollen die Potenziale der Digitalisierung landwirtschaftlicher Produktionssysteme im Echtbetrieb getestet und ausgewertet werden. Im Vordergrund stehen die Anforderungen und Erfahrungen der landwirtschaftlichen Anwender, deren Berücksichtigung durch einen kontinuierlichen und praxisnahen Austausch mit praktizierenden Landwirten sowie deren Händlern und Lieferanten gewährleistet wird.

2.2 Technologie- und Wissenstransfer

Durch die direkte Zusammenarbeit mit landwirtschaftlichen Betrieben und Lohnunternehmen sowie die herstellerübergreifende Einbeziehung der Landtechnikindustrie soll der Transfer neuer Technologien und Forschungsergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis erheblich verbessert werden. Außerdem werden die im Agro-Nordwest gewonnenen Erkenntnisse und neuen Lösungsansätze des Digital Farming einer breiten Öffentlichkeit, vom Anwender bis zum Verbraucher, vermittelt. Hierzu werden in Kooperation mit landwirtschaftlichen Bildungs- und Weiterbildungseinrichtungen geeignete Publikationen und Konzepte entwickelt, die sowohl die Praxis als auch den (Weiter-)Bildungsbereich („Train the Trainer“) adressieren.

2.3 Anwendungsorientierte Forschung in realistischer Versuchsumgebung

Um Praxisnähe zu gewährleisten, finden im Agro-Nordwest sowohl unterschiedliche Betriebsstrukturen und Umgebungen als auch realistische Szenarien hinsichtlich der Mobilfunknetze Berücksichtigung. Unter Annahme einer in ländlichen Regionen vorherrschenden Netzabdeckung von 0G, 1G, 2G, 3G und 4G werden daher u.a. Versuche im Umfeld schwankender Bandbreiten und unvollständiger Netzabdeckung (Konversion der Netze)

durchgeführt. In einer realistischen Versuchsumgebung sollen die Konnektivität der Maschinen sogenannter „bunter Flotten“ im Feld getestet und vorhandene Werkzeuge herstellerübergreifend maschinenlesbar miteinander vernetzt werden. In diesem Zusammenhang sollen Tests und Versuche im Bereich vernetzter Sensorik durchgeführt und die Robustheit und Kompatibilität von Hard- und Software bei zunehmender Vernetzung untersucht und verbessert werden. In dieser realistischen Versuchsumgebung soll, unter Anwendung standardisierter Datenräume und Datenübertragungswege, das Datenmanagement landwirtschaftlicher Produktionsdaten getestet und weiterentwickelt werden. Die gewonnene Datenbasis wird vergleichende Untersuchungen zwischen klassischer Technik und Digital Farming ermöglichen und so Erfolgspotenziale digitalisierter Produktionsprozesse analysieren. Die praxisnahe Versuchsumgebung des Experimentierfeldes Agro-Nordwest kann neue Innovationsimpulse und Forschungsideen für die beteiligten Forschungseinrichtungen liefern, die in Folgeprojekten aufgegriffen werden können.

2.4 Risiko- und Folgenabschätzung

Im Agro-Nordwest soll untersucht werden, inwiefern die Digitalisierung landwirtschaftlicher Produktionsprozesse, insbesondere unter Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette, ökonomische und ökologische Ziele der Agrar- und Ernährungswirtschaft langfristig miteinander in Einklang bringen kann. Daher wird im Agro-Nordwest eine kontinuierliche Technologiebewertung implementiert. Diese beinhaltet die Bewertung von Digital Farming im Hinblick auf mögliche Verbesserungen für die landwirtschaftliche Praxis durch den Einsatz ressourcen- und umweltschonender Produktionsverfahren (Betriebsmitteleffizienz, Arbeitskräfteeinsatz, Dokumentation, Umweltentlastung, Nährstoffeffizienz etc.). Zudem sollen Folgeabschätzungen in Bezug auf den Umgang mit Daten (Datensicherheit, Datenhoheit und Abhängigkeiten) und Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Arbeitswelt vorgenommen werden. Im Ergebnis soll und kann hier ein Modell der digitalisierten, in das wirtschaftliche und soziale Ökosystem integrierten Landwirtschaft entstehen.

3 Ausblick

Das Experimentierfeld Agro-Nordwest wurde im Oktober 2019 gestartet. Neben der internen Kommunikation der Projektpartner mit Landtechnik-Unternehmen, landwirtschaftlichen Betrieben und dem Projekt-Beirat findet ein Austausch mit anderen Experimentierfeldern statt. Es sind zahlreiche Veranstaltungen und Workshops für verschiedene Zielgruppen und die Öffentlichkeit geplant.

Das Projekt Agro-Nordwest wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen der Richtlinie über die Förderung der Einrichtung von Experimentierfeldern zur Digitalisierung in der Landwirtschaft gefördert.