

Prototypische Entwicklungen zur Umsetzung des Resilient Smart Farming (RSF) mittels Edge Computing

Daniel Eberz-Eder ¹, Franz Kuntke ², Gerwin Brill³, Ansgar Bernardi⁴, Christian Wied⁵, Philippe Nuderscher³, Christian Reuter ²

Abstract: Landwirtschaft als essenzieller Teil der Nahrungsmittelproduktion gehört zu den kritischen Infrastrukturen (KRITIS). Dementsprechend müssen die eingesetzten Systeme für einen widerstandsfähigen Betrieb ausgelegt sein. Dies gilt auch für die auf landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzte Software, die Sicherheits- und Resilienz Kriterien genügen muss. Jedoch ist die Zunahme an Software zu beobachten, welche eine permanente Internetkonnektivität erfordert, d. h. eine stabile Verbindung zu Servern oder Cloud-Applikationen ist für deren Funktionsweise erforderlich. Dies stellt eine erhebliche Schwachstelle hinsichtlich der Resilienz dar und kann bei Ausfällen der Telekommunikationsinfrastruktur zu großen Problemen führen. Mit Entwicklungen aus dem Bereich Resilient Smart Farming (RSF) zeigen wir, wie Datenhaltung nach dem Offline-First-Prinzip gestaltet werden kann. Ein zentraler Bestandteil hierbei ist das Resilient Edge Computing (REC) und die entwickelte HofBox: ein Mini-Server, der das Datenmanagement im Betrieb übernimmt und mittels innovativer Open-Source basierender Container-Technologie (Open Horizon) umsetzt. Dadurch werden in Zukunft weitere Anwendungsfälle innerhalb der landwirtschaftlichen Produktions- und Wertschöpfungskette durch Public-Private-Partnership-Modelle realistisch und realisierbar.

Keywords: Resilient Smart Farming, Resilienz, Digital Farming, HofBox, Resilient Edge Computing

1 Motivation

Der Prozess der landwirtschaftlichen Produktion erfährt insbesondere in Industrieländern eine fortwährende Digitalisierung, die als Digital Farming oder Smart Farming bezeichnet wird [DLG19], d. h. der Anteil Software-gestützter Werkzeuge und reiner Software-

¹ Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinessen-Nahe-Hunsrück, Rüdeshheimer Str. 60-68, 55545 Bad Kreuznach, daniel.eberz@dlr.rlp.de,  <https://orcid.org/0000-0002-6539-5221>

² Technische Universität Darmstadt, PEASEC, Pankratiusstraße 2, 64298 Darmstadt, kuntke@peasec.tu-darmstadt.de,  <https://orcid.org/0000-0002-7656-5919> und reuter@peasec.tu-darmstadt.de,  <https://orcid.org/0000-0003-1920-038X>

³ expeer GmbH, Wachsbleiche 10-12, 53111 Bonn, brill@expeer.de und nuderscher@expeer.de

⁴ Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) Trippstadterstr. 122, 67633 Kaiserslautern, bernardi@dfki.de

⁵ IBM, Mies-van-der-Rohe-Straße 6, 80807 München, christian.wied@de.ibm.com

basierter Prozesse wie Planungsaufgaben nimmt nachweislich stetig zu [DN22; BI22; Ba20]. In Zeiten diverser Krisen wie dem Ukrainekrieg, der COVID-19-Pandemie, Cyberattacken und der Klimaveränderung zeigt sich mehr als je zuvor, dass die Landwirtschaft multiplen Risiken ausgesetzt ist und sich in Zukunft stärker mit der Krisen- und Katastrophenvorsorge beschäftigen muss.

Im Innovationsprojekt GeoBox sind die experimentelle Entwicklung und Erprobung eines praxistauglichen Prototyps einer dezentralen Datenhaltung nach dem Offline-First-Prinzip im Fokus. Dabei soll das Konzept einer standardisierten und resilienten GeoBox-Infrastruktur umgesetzt werden. Die zentrale Frage ist hierbei: (Wie) Kann eine dezentrale Datenhaltung mit hybrider IT-Infrastruktur umgesetzt werden und dabei den ökonomischen und ökologischen Nutzen von Anwendungen im Smart Farming unterstützen und die Resilienz steigern. Dafür wurde ein Konzept entwickelt und durch agile Methodik umgesetzt, so dass nun mit Hilfe eines Software-Prototyps die Praxistauglichkeit sowie Vor- und Nachteile von dezentraler Datenhaltung in der Landwirtschaft ermittelt werden. Wir erwarten von der Lösung, dass diese weniger anfällig gegenüber Angriffen auf zentrale Infrastruktur sowie Blackout-Szenarien ist. *Resilient Smart Farming (RSF)* ist ein Konzept zur Nutzung digitaler Technologien und Anwendungen mit dem Fokus auf die Steigerung der Resilienz in der digitalen Landwirtschaft. Zentraler Begriff ist hierbei die Resilienz als wünschenswerter Zustand einer widerstandsfähigen digitalen Infrastruktur in der KRITIS Landwirtschaft [BI16; BLE20]. Resilienz wird im Zusammenhang mit technischen Systemen oft durch drei Kapazitäten definiert: Absorption, Erholung und Wandel. Um diesen Kapazitäten gerecht zu werden, haben sich für das Vorhaben einer Datenverwaltung im landwirtschaftlichen Kontext folgende technische Anforderungen ergeben: (1) Offline-Fähigkeit, (2) Datensicherheit und (3) Integration und Kompatibilität zu (offenen) Datenstandards.

Offline-Fähigkeit beschreibt hierbei die Möglichkeit, wesentliche Dienste auch ohne aktive Verbindung zu anderen Computern (Servern) nutzen zu können. Auch wenn eine Internetverbindung für längere Zeit nicht zur Verfügung steht, soll das Gesamtsystem weiterhin funktional sein. Somit ergibt sich eine Absorption gegenüber Störungen in der Internet-Infrastruktur. Diese Anforderung kann durch unterschiedliche Strategien umgesetzt werden. Eine Software-Hardware-Kombination, die keine Netzwerktechnik voraussetzt, wie dies bei klassischen Desktopanwendungen der Fall ist, erfüllt hier oftmals die Anforderung. Aber auch Cloud-Anwendungen können durch geschickte Caching- und Synchronisations-Mechanismen einen längerfristigen Netzwerkausfall ohne Datenverlust erlauben. Diese sind allerdings mit höheren Anforderungen seitens der Software-Architektur verbunden.

Datensicherheit bezeichnet die Eigenschaft, dass gespeicherte Daten nicht verloren gehen. Klassische Methoden dafür sind das Erzeugen von gewollten Daten-Redundanzen, wie durch RAID-Systeme und Backups. Aber auch dezentrale Datenverteilungen haben oft die positive Eigenschaft, durch die Nutzung selbst bereits die Daten auf mehrere Datenträger

zu verteilen. Wichtig ist hierbei, dass redundante Datenhaltung auch für eine Datenrettung genutzt werden kann. So sollte im Fall von (gewollter) Datenduplizierung auf mobilen Endgeräten auch die Möglichkeit bestehen, diese wieder auf andere Systeme (zurück) zu spiegeln. Dies fördert die Möglichkeit, sich nach Krisenereignissen zu erholen, indem beispielsweise defekte Geräte ersetzt und zügig mit dem alten Datenbestand in einen nutzbaren Zustand überführt werden können.

Integration und Kompatibilität zu (offenen) Datenstandards erlauben eine hohe Flexibilität im Umgang mit größeren Software-Ökosystemen und somit die Möglichkeit, auf sich ändernde – gegebenenfalls unvorhergesehene – Umstände zu reagieren. Dies ermöglicht auch das komplette System nach einem Krisenereignis anzupassen – zu *wandeln* – beispielsweise, wenn nach den Erkenntnissen durch das Krisenereignis andere Software-Hardware-Systeme geeigneter erscheinen.

2 Konzept des Resilient Edge Computing im GeoBox-Kontext

Der Begriff Resilient Edge Computing (REC) ist das Kompositum aus den Begriffen Resilienz (im Sinne von Widerstands-/Anpassungsfähigkeit) und Edge Computing als Systemarchitektur-Ansatz [EKR22]. Edge Computing beschreibt dabei eine Systemarchitektur, bei der grundlegende Datenverarbeitungsleistung (vorrangig CPU- und Speicherkapazität) nicht durch zentrale Cloud-Systeme erbracht wird, sondern stattdessen direkt am Entstehungsort der Daten. Im Rahmen der GeoBox-Projekte wurde das REC auf zwei Ebenen geplant: auf der Ebene der Infrastruktur (1) und der Ebene der Anwendungen (2).

Auf der Intrastrukturebene bildet redundante lokale Rechenkapazität – die sogenannte HofBox – das Herzstück. Als zentraler Baustein unserer resilienten Infrastruktur stehen HofBoxen auf den landwirtschaftlichen Betrieben zur Verfügung und stellen im Krisenfall – stellvertretend für zentrale Cloud-Systeme – den missionskritischen Datenbestand sowie lokale Sensornetzwerke inkl. zugehöriger Tools und Anwendungen bereit. Die HofBoxen werden mittels der Open-Source Edge-Computing-Plattform „Open Horizon“ ohne Nutzerinteraktion (sog. Zero Touch) initialisiert, installiert und mit Updates versorgt. Für die Applikationen der Anwendungsebene gilt, dass diese „containerisierbar“ sein müssen und somit sowohl im Rechenzentrum, cloudbasiert oder eben lokal auf der HofBox lauffähig sind. Die Anwendungen sollen dabei mittels eines Standard-Internetbrowsers, also ohne zusätzliche Software, nutzbar, über eine spezielle Startseite auf der HofBox zugänglich und grundsätzlich ohne Verbindung zum Internet funktionsfähig sein. Über die Integration eines App-Stores können zudem weitere Anwendungen auf Nutzerwunsch installiert werden. Zur Unterstützung der täglichen Arbeit wird eine (erweiterbare) Basis-Software (GeoBox-App) standardmäßig ausgeliefert.

3 Stand der GeoBox-App, HofBox und Backend-Infrastruktur

Die bislang umgesetzte Architektur der GeoBox-Infrastruktur besteht sowohl aus serverseitigen Komponenten und Anwendungen, die auf zentralen Systemen (Cloud-Servern) betrieben werden, als auch aus lokalen Komponenten zur resilienten dezentralen Anwendung auf der Seite des Edge Computings (hier: sog. HofBoxen). Insgesamt besteht die Architektur dabei aus den folgenden drei Ebenen: Ebene 1 (Hybrid- und Multicloud-Management) stellt die zentralen Services und Anwendungen der GeoBox-Infrastruktur für Anwender (derzeit z. B. GeoBox-Viewer) sowie die Backend-Infrastruktur als zentrale Dienste zur Verfügung. In der darunterliegenden Ebene 2 (Netzwerkserver) befindet sich die Netzwerkinfrastruktur in Form z. B. des öffentlichen Internets oder öffentlich zugänglicher LoRaWAN-Installationen (z. B. via TheThingsNetwork). Es besteht hier auch die Möglichkeit, eigene lokale Netzwerke (privates 5G oder LoRaWAN) aufzubauen. Dies ist im Krisenfall für eine funktionstüchtige Kommunikation von entscheidender Bedeutung. Die unterste Ebene 3 (Resilient Edge Computing) beinhaltet zurzeit ein regionales Edge-Gateway, eine regionale Serverinstanz auf der Open Data Farm Neumühle und die HofBoxen als Edge Devices mit der GeoBox-App.

Die GeoBox-Applikation (GeoBox-App) [Ku20] ist eine modulare Basis-Software, die mittels eines SDK um Teil-Apps erweitert werden kann. So konnten Anwendungen wie z. B. prototypische KI-basierte Beratungstools für Pflanzenschutz im Wein- und Ackerbau auf Basis des IBM Watson leichtgewichtig implementiert werden. Die GeoBox-App bietet durch das Dashboard einen Überblick über verfügbare Anwendungen und dient als mobile Interaktionskomponente, die auf den üblichen Smartphone- (bzw. Tablet-) Betriebssystemen eingesetzt werden kann. Aktuell umfasst die GeoBox-App unter anderem Anwendungen zur Kommunikation (Geobox-Messenger), für die Verwaltung der Schläge des landwirtschaftlichen Betriebs (GeoBox Feldatlas) und zur Dokumentation von Beobachtungen und Maßnahmen im Feld (GeoBox Buchungsjournal). Der GeoBox-Watson-Chatbot nutzt die lokal erhobenen Daten, um in einem Beratungsdialo g Hilfe bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Wein- oder Ackerbau zu geben.

Die Architektur der GeoBox-App hält die notwendigen Daten zunächst lokal auf dem jeweiligen Mobilgerät und synchronisiert diese dann gegen die betriebliche HofBox (Offline-First-Prinzip). Die konzeptuelle Offenheit manifestiert sich auch in der verwendeten Datenmodellierung: Das GeoBox Buchungsjournal repräsentiert Beobachtungen und durchgeführte Maßnahmen als Instanzen einer formalen Aktivitäts-Ontologie und überführt die Dokumentationseinträge in einen umfassenden betrieblichen Wissensgraph auf RDF-Basis. Die jeweiligen Inhalte werden durch Verwendung von Begriffen aus dem AGROVOC Thesaurus der Food and Agricultural Organisation (FAO) eindeutig und maschinenlesbar formalisiert. So kann die Integration und Kompatibilität zu (offenen) Datenstandards in der GeoBox umgesetzt werden. Der Ortsbezug der jeweiligen Einträge wird über die Verknüpfung zum GeoBox Feldatlas ermittelt; dieser ermöglicht die Modellierung, Auswahl, Teilung und Verknüpfung von Schlagumrissen und Schlageigenschaften und verwendet dazu auch die replizierten Geo-Basisdaten der bereitgestellten öffentlichen Quellen. Der damit entstehende betriebliche Wissensgraph

steht für vielfältige Abfragen bereit, wobei die ermittelten Ergebnisse in der jeweiligen Anwendung (wie etwa dem Watson Chatbot) erst nach menschlicher Kontrolle und Freigabe übertragen werden. Als Interaktionsparadigma hat sich das Füllen und explizite Versenden von „Formularen“ bis hin zum umfassenden „Feldpass“ bewährt.

In den letzten Monaten wurde unterschiedliche Hardware zur Entwicklung der HofBox getestet. Die erste HofBox-Generation basierte dabei auf einem Raspberry Pi 4 Modell B mit 4GB. Tests der GeoBox-App sowie des REC konnten darauf erfolgreich ausgeführt werden. Eine gleichzeitige Funktion als lokales LoRaWAN-Gateway wurde aufgrund der unzureichenden Reichweite des eingesetzten LoRa-Erweiterungsboards für den landwirtschaftlichen Praxisbetrieb jedoch als ungeeignet eingeschätzt. Um den zukünftigen Auslieferungsprozess möglichst einfach und gleichzeitig sicher zu gestalten, unterstützt die zweite Iteration der HofBox-Hardware das sogenannte Secure-Device-Onboarding-Protokoll (SDO). Hierfür verfügt der x86-kompatible Mini-Rechner über eine spezielle Initialisierungs-Software sowie eine in Hardware hinterlegte ID (sog. Ownership Voucher). Mittels eines im begleitenden Projekt AgriRegio entstandenen Dialogs zur Aktivierung einer HofBox, der diese nicht-initialisierte und nicht-installierte Hardware-Box mit einem konkreten Benutzer verknüpft, führt die Box beim ersten Einschalten und der ersten Online-Verbindung den SDO-Prozess folgendermaßen aus:

1. Das Device kontaktiert einen SDO-Rendezvous-Service. Dieser Service kann auf Basis des im Device hinterlegten Ownership Voucher die technische Adresse des zugehörigen Plattform-Service feststellen.
2. Das Device wird vom SDO-Rendezvous-Service an den Plattform-Service weitergeleitet.
3. Das Device registriert sich am Plattform-Service – in diesem Fall mit dem Open-Source Framework Open Horizon / IEAM Management Hub – und wird mit der intendierten Node Policy und den Benutzer-Informationen versehen.
4. Auf Basis der Node Policy bezieht und installiert der auf der HofBox laufende Open-Horizon-Agent die für diesen Knoten vorgesehenen Software-Container.

Sobald die Basis-Softwares auf der HofBox einen lauffähigen Zustand erreicht haben, also die lokale Setup-Prozedur der Docker-Container abgeschlossen ist, verschickt die HofBox über einen jimverse-Service eine E-Mail sowie eine SMS mit der lokalen URL der HofBox-Startseite (jimBox) an den registrierten Benutzer. Die Initialisierung und Erst-Installation der HofBox ist damit abgeschlossen.

4 Fazit und Ausblick

Digitale Landwirtschaft muss nicht zwangsläufig zu einer internetabhängigen und damit anfälligen Architektur führen. Dies konnten wir anhand des entwickelten Konzepts und der anschließenden Entwicklung einer prototypischen technischen Umsetzung des Resilient Smart Farming mittels Edge Computing aufzeigen. Eine IT-Architektur im landwirtschaftlichen Kontext ist somit mit technischen Resilienz-Prinzipien vereinbar.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen die Chancen des Edge Computing in Verbindung mit einem hybriden Cloud-Management in der Landwirtschaft. Die entstandenen Prototypen und Softwareartefakte bieten nun die Möglichkeit, weitergehende praktische Tests durchzuführen und gemeinsam mit der Wirtschaft im Rahmen von Public-Private-Partnership (PPP) sinnvolle Implementierungen zu initiieren und eine resiliente digitale Infrastruktur aufzubauen. Ziel ist es, die vorgestellte IT-Architektur im Rahmen des begleitenden AgriRegio-Projekts [Re22] des BMEL durch unterschiedliche Anwendungsfälle der Landwirtschaft in den nächsten Monaten in einen praxisnahen Probetrieb zu überführen und zu evaluieren.

Förderhinweis: Das Innovationsprojekt GeoBox-II wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank.

Literaturverzeichnis

- [Ba20] Bartels N. et al.: Machbarkeitsstudie zu staatlichen digitalen Datenplattformen für die Landwirtschaft, IESE-Report Nr. 022.20/ D Version 1.1 - final 21. Dezember 2020.
- [BI22] Bitkom-Research, Studie: Die Digitalisierung der Landwirtschaft, Bitkom e.V., Berlin, 12. Mai 2022.
- [BI16] Bundesministerium des Innern (BMI): Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung–BSI-KritisV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil I Nr. 20, 2016.
- [BLE20] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): Ernährung — eine Kritische Infrastruktur; Ernährungssicherstellungs- und Vorsorgegesetz, <https://www.gesetze-im-internet.de/esvg/>, zuletzt abgerufen am: 01.12.2022.
- [DLG19] DLG-Merkblatt 447: Digitalisierung in der Landwirtschaft – Wichtige Zusammenhänge kurz erklärt, DLG e.V. Fachzentrum Landwirtschaft Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main, 2019.
- [DN22] Dörr, J.; Nachtmann, M.: Summary. In: Dörr, J., Nachtmann, M. (eds) Handbook Digital Farming. Springer, Berlin, Heidelberg. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64378-5_7.
- [EKR22] Eberz-Eder D.; Kuntke F.; Reuter C.: Sensibilität für Resilient Smart Farming (RSF) und seine Bedeutung in Krisenzeiten, RSF für eine nachhaltige, umweltgerechte und resiliente digitale Landwirtschaft. 42.GIL-Jahrestagung: Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, 2022.
- [Ku20] Kuntke, F. et al.: Die GeoBox-Vision: Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. In: *Mensch und Computer 2020 - Workshop-band* (2020), S. 1-6.
- [Re22] Reuter C. et al.: AgriRegio: Infrastruktur zur Förderung von digitaler Resilienz und Klimaresilienz im ländlichen Raum am Beispiel der Pilotregion Nahe-Donnersberg. 52. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 2022. https://doi.org/10.18420/inf2022_81