

Hybrid-Cloud-Infrastrukturen – Edge Computing und KI-basierte Anwendungen in der Landwirtschaft für resiliente und effektive Produktions- und Biodiversitätsmaßnahmen

Daniel Eberz-Eder ¹, Franz Kuntke ², Christian Reuter ², Ansgar Bernardi³, Ahmad Kadi³, Gerwin Brill⁴, Daniel Martini⁵ und Benno Kleinhenz⁶

Abstract: Mobile Erhebung semantisch modellierter Daten und deren Auswertung im Feld durch Hybrid Cloud Computing sind Grundlage des Resilienten Smart Farmings im Projekt GeoBox. Eine skalierbare Architektur und semantische Datenmodellierung ermöglichen das Management betrieblicher Software-Container, die flexible Anpassung an neue Aufgaben und die Realisierung einfach nutzbarer externer Services, vorgestellt am Beispiel eines Resistenz-Beratungs-Chatbots und von Blühstreifen als Biodiversitätsmaßnahme.

Keywords: Resilienz, Edge Computing, Künstliche Intelligenz, Semantik, HofBox

1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung der Landwirtschaft eröffnet neue Möglichkeiten der Unterstützung effizienter und ressourcenschonender Produktion, stellt aber gleichzeitig hohe Anforderungen an Datenerhebung, Dokumentation, Datenschutz, Datensicherheit, Schnittstellen und Vernetzung [DN22; Bi22]. Zudem geraten alle Arbeitsschritte in immer stärkere Abhängigkeit von der Verfügbarkeit aktueller Daten und Web-Dienste, so dass die datentechnische Infrastruktur zunehmend zu einem kritischen Single Point of Failure zu werden droht. Im Innovationsprojekt GeoBox wurde ein System realisiert, das diese Schwierigkeiten durch einen Hybrid-Cloud-Ansatz entschärft: Mobile Datenverarbeitung

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 Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), Trippstadter Str. 122, 67663 Kaiserslautern, ansgar.bernardi@dfki.de, ahmad.kadi@dfki.de

⁴ expeer GmbH, Wachsbleiche 10-12, 53111 Bonn, brill@expeer.de und nuderscher@expeer.de

⁵ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt, d.martini@ktbl.de

⁶ Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP), Rüdeshheimer Str. 60-68, 55545 Bad Kreuznach, kleinhenz@zepp.info

im Feld ermöglicht unmittelbare Datenerhebung vor Ort; die Replikation benötigter Basisdaten im betrieblichen Hof-Server (HofBox) und die lokale Auswertung durch Resilient Edge Computing (REC) sichern die betriebliche Datenhoheit und Resilienz gegen Störungen [EKB23; EKR22]. Die Datenmodellierung stützt sich auf etablierte Ontologien (z. B. AGROVOC [AG23]), diese explizite Semantik ermöglicht höchste Flexibilität bei Änderungen sowie Übertragbarkeit und Verarbeitung durch externe Dienste.

Wir präsentieren im Folgenden die Prinzipien der Resilient Edge Computing Architektur und der semantischen Datenmodellierung und die Evaluierung durch zwei Beispiele: Ein Beratungsassistent zum Pflanzenschutz unter Berücksichtigung von Resistenzfragen illustriert, wie auf dieser Basis moderne, dialogfähige KI-Systeme unmittelbaren Einsatz in der betrieblichen Praxis finden können; die im Experiment mit minimalem Aufwand realisierte Systemerweiterung zur Erfassung und Bewertung der Biodiversitätsmaßnahme „Blühstreifen“ zeigt die außerordentliche Adaptierbarkeit an neue Herausforderungen.

2 Ergebnisse

2.1 Hybrid-Cloud-Infrastruktur – Resilient Edge Computing als Möglichkeit zur Steigerung der Resilienz

Als skalierbare Architektur (Abb. 1) für ein Resilient Edge Computing [EKB23] verwenden wir das open source Framework Open Horizon⁷. Dies erlaubt, tausende HofBoxen mit containerisierter Software zu administrieren. Die aktuelle Entwicklung der HofBox zeichnet sich durch eine weitgehende Vorkonfiguration aus, sodass eine Inbetriebnahme ohne weitere Konfiguration möglich ist. Anwendungen können mittels eines Internetbrowsers, d.h. ohne zusätzliche Software, genutzt werden. Zur Unterstützung der täglichen Arbeit wird standardmäßig eine erweiterbare Basissoftware (GeoBox-App) mitgeliefert. Zusätzliche Anwendungen können über die Integration eines App-Stores installiert werden, wenn dies vom Nutzer gewünscht wird. Das HofBox-Grundsystem basiert auf einer Linuxdistribution (Ubuntu) in Kombination mit einem vorkonfigurierten Open-Horizon-Client. Diese Kombination ist auf einer Vielzahl von Computerhardware lauffähig, wodurch sich auch später unterschiedliche Anforderungen durch potentere oder sparsame Hardware abbilden lassen. Im Kern ist die Idee, dass ein dedizierter Compute-Server, der an den Betrieb geliefert und aus der Ferne verwaltet wird, dem Landwirt lokal Datenverarbeitungsdienste zur Verfügung stellt. Um robustes Smart Farming in die Praxis umzusetzen, werden die Daten der Landwirte primär auf der HofBox gespeichert. Nur mit Zustimmung werden Daten an andere Orte gesendet und gespeichert.

⁷ Linux Foundation Projekt unter LF Edge Open Horizon

Die entwickelte Architektur der GeoBox-App als containerisierte Software hält die notwendigen Daten zunächst lokal auf dem jeweiligen Endgerät (z. B. Smartphone) und synchronisiert diese dann mit der HofBox. Durch das Betreiben eines eigenen open-source-basierenden LoRaWAN-Server (Chirpstack) können autarke und internetunabhängige regionale LoRaWAN-Sensornetzwerke aufgebaut werden. Diese können u.a. zur Notkommunikation genutzt werden [Ku23b].

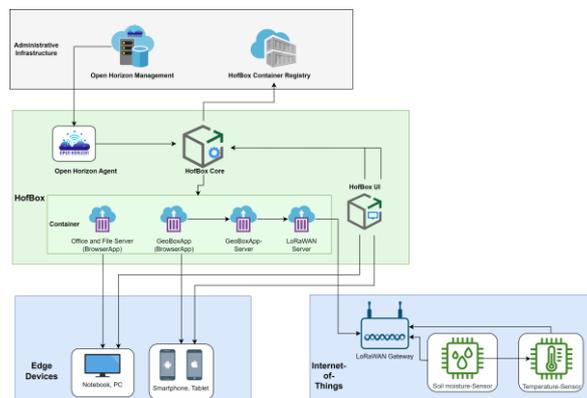


Abb. 1: Systemarchitektur des Resilient Edge Computing (EKB 23)

2.2 Semantische Datenmodellierung im GeoBox-Buchungsjournal

Die Dokumentation landwirtschaftlicher Maßnahmen und Beobachtungen auf einem Feld erfolgt fortlaufend über die Vegetationsperiode. Traditionelle Karteikarten, aber auch digitale Schlagkarteien mit proprietären geschlossenen Datenmodellierungen bieten aber nicht die notwendige Flexibilität, Offenheit und Interoperabilität. GeoBox erreicht dies durch Datenmodellierung mit semantischen Technologien. Jede Beobachtung oder Maßnahme wird als Instanz einer (allgemeinen oder spezifischen) „Aktivität“ dargestellt. Die konkreten Attribute und Werte dieser Instanz nutzen eindeutige Vokabulare. Hierzu wurde eine Ontologie entwickelt, die mögliche Feldmaßnahmen und Beobachtungen in eine Klassenhierarchie einordnet und dadurch bestimmt, welche Attribute, Wertebereiche und Datentypen die landwirtschaftlichen Maßnahmen beschreiben [Ka23]. Ein wichtiges Vokabular zur Beschreibung landwirtschaftlicher Objekte und Vorgänge ist der Thesaurus AGROVOC. Klassen und Prädikate der GeoBox-Ontologie sind mit den entsprechenden Konzepten aus AGROVOC über Mapping-Relationen verbunden. Das kontinuierliche Hinzufügen von Einträgen (Instanzen) lässt das GeoBox-Buchungsjournal entstehen, das die Arbeit im Betrieb oder auf dem Feld dokumentiert. Das Buchungsjournal ist ein betrieblicher Wissensgraph und kann durch beliebige SPARQL-Anfragen [SP23] ausgewertet werden. Informationsbedürfnisse externer Systeme werden so nach Inhalt und Form befriedigt. Soweit Fremdsysteme solche Anfragen stellen, wird die Ausgabe durch Menschen geprüft und freigegeben und so die Datenhoheit gewahrt.

2.3 Experiment: Erfassung und Bewertung von Biodiversitätsmaßnahmen

GeoBox-Architektur und -Datenmodellierung bieten außerordentliche Flexibilität, um das System an neue Aufgaben anzupassen. Im Experiment betrachten wir das Beispiel eines landwirtschaftlichen Betriebs, der Teile seiner Felder als Blühstreifen ausweisen möchte, um die Biodiversität zu erhöhen. Um diese Maßnahme neu zu dokumentieren, zu bewerten und darüber zu berichten, genügen wenige Eingriffe: Zur Ontologie wird eine passende Klassendefinition hinzugefügt. Die nötigen Bildschirm-Eingabemasken entstehen daraus automatisch. Zur Auswertung der neu erfassten Daten wird eine SPARQL-Query neu formuliert, die den gewünschten Bericht erzeugt. Abbildung 2 zeigt die wesentlichen Elemente: das neue Konzept „Blühstreifen“, die daraus generierte Eingabemaske, die SPARQL-Abfrage für Abfrage und Berechnung des Anteils der ökologischen Maßnahme sowie den erzeugten Bericht. Die Definition dieser Elemente und der Import in das System sind eine Sache weniger Minuten!

The image shows a screenshot of a web application interface for defining and evaluating biodiversity measures. It is divided into four main sections:

- Shape-Definition (Left):** A JSON-LD snippet defining the class `fsg:WildFlowerStripProvisioningShape`. It includes properties for label, target class, generation time, time zone, label, area, field count, and field gradient.
- Eingabemaske (Center):** A form titled "Daten zu Blühstreifen bereitstellen" (Provide data for flower strips). It contains fields for date, time zone, name, number, coordinates (with a polygon editor), and area (with a unit dropdown). There are also checkboxes for "Dauerhaft" (Permanent) and "Hangneigun" (Slope), each with a unit dropdown. Buttons for "Zurück" and "Speichern" are at the bottom.
- SPARQL-Query (Right):** A SPARQL query that selects the area of flower strips relative to the total field area. The query uses `geo:area` and `sum` functions.
- Bericht (Bottom Right):** A summary box titled "Ökologische Feldmaßnahmen" (Ecological field measures) showing:
 - Blühstreifenanteil: 7.17 %
 - Blühstreifenfläche: 1.03 HA
 - Gesamtfläche: 14.36 HA

Abb. 2: Shape-Definition, Eingabemaske, SPARQL-Query, Bericht

2.4 Chatbot zum Resistenzmanagement mittels semantischer Technologien

Neben betrieblichen Datenbeständen benötigen Entscheidungsunterstützungssysteme weitere relevante Datenquellen; z. B. spielen Eigenschaften von Kulturpflanzen, Schaderregern und Pflanzenschutzmitteln oder die Wetterlage eine Rolle bei der Planung von Pflanzenschutzmaßnahmen. Außerdem enthalten Entscheidungsunterstützungssysteme in Form von Modellen oder Entscheidungsbäumen kodifiziertes Expertenwissen. Für betriebsspezifische Empfehlungen müssen diese Elemente zusammengeführt werden. Im Projekt wurde ein Chatbot für interaktive Beratungsdialoge entwickelt, der Empfehlungen für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln gibt und dabei Resistenzaspekte und die individuelle betriebliche Historie berücksichtigt [Ka23]. Per API werden Entscheidungsbäume des öffentlichen Experten-Beratungsdienstes (ISIP)

genutzt, die wirksame und Resistenzen vermeidende Pflanzenschutzempfehlungen ermitteln. Zusammen mit Wetter- und Lokationsinformationen fließen diese in das auf dem IBM Watson Assistant [WA23] aufbauende Chatbot-System. Die Interaktion mit den Nutzenden geschieht durch sicheren Austausch über die Kommunikations-App „Messenger“ der Geobox-Infrastruktur.

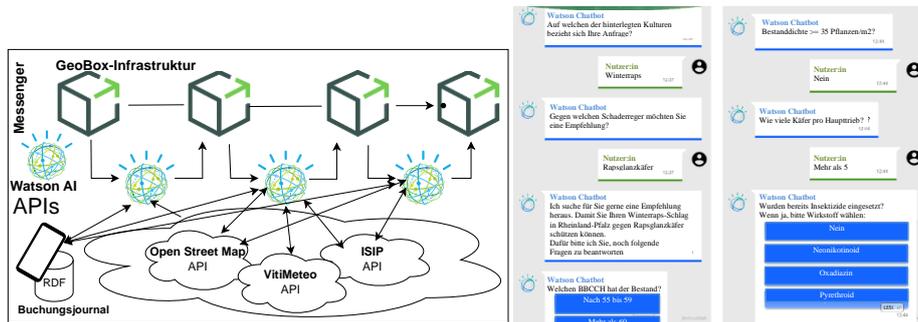


Abb. 3: Chatbot-Architektur: mit IBM Watson, daneben ein Chat-Beispiel im Messenger

Im Dialog müssen dann u. a. Fragen zur aktuellen Aussaat und den früher eingesetzten Pflanzenschutzmitteln beantwortet werden. Diese Arbeiten sind im Buchungsjournal unter Nutzung der Vokabulare dokumentiert, so dass der Chatbot unmittelbar SPARQL-Anfragen an das Buchungsjournal stellen kann. Die erhaltene Antwort wird im Chat hervorgehoben und manuell abgeschickt. Abbildung 3 zeigt die Architektur und den Chat-Verlauf einer Resistenzberatung bei der Schädlingsbekämpfung, wobei z. B. die Historie früherer Anwendungen direkt aus dem Buchungsjournal entnommen wird. Zu sehen sind die hervorgehobenen Antworten zwischen den möglichen Optionen.

3 Diskussion und Ausblick

Die von uns konzipierte und entwickelte Lösung zur Stärkung der digitalen Resilienz in der Landwirtschaft, Resilient Smart Farming, ist technologisch machbar. In zukünftigen Tests wird sich zeigen, ob die Lösung auch unter den Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis erfolgreich ist. Die technologische Machbarkeit konnten wir, wie oben beschrieben, mit Resilient Edge Computing praktisch demonstrieren. Wir erwarten, dass containerisierte Software in den nächsten Jahren verstärkt auch in der Landwirtschaft eingesetzt wird. Mit Einsatz von Open Horizon zeigen wir, wie diese auch auf Edge-Geräten verwaltet und administriert werden können. Der Einsatz von KI auf unterschiedlichen Edge Devices wird in naher Zukunft neue Möglichkeiten für Echtzeitanalyse und Entscheidungsfindung in einer Vielzahl von Branchen realisieren. Im Beispiel „Anpassung an Biodiversitätsfrage“ konnten wir zeigen, dass die Anpassung des Systems an neue Fragestellungen dank der semantischen Modellierung rasch und mit minimalen Eingriffen möglich ist. Die prototypische Entwicklung des Resilient Smart

Farming durch resilientes Edge Computing wird u. a. im Experimentierfeld Südwest erprobt und ist Vorbild für andere kritische Infrastrukturen. Hybrid-Cloud-Computing (Zusammenspiel von Cloud – und Edge-Computing) gewinnt mit landwirtschaftlicher IoT-Verbreitung in öffentlichen Institutionen und Privatwirtschaft an Bedeutung.

Literaturverzeichnis

- [AG23] AGROVOC multilingual thesaurus, www.fao.org/agrovoc, Stand: 24.04.2023.
- [Bi22] Bitkom-Research, Studie: Die Digitalisierung der Landwirtschaft, Bitkom e.V., Berlin, 12. Mai 2022.
- [DN22] Dörr, J.; Nachtmann, M.: Summary. In: Dörr, J., Nachtmann, M. (eds) Handbook Digital Farming. Springer, Berlin, Heidelberg, 2022.
- [EKB23] Eberz-Eder D.; Kuntke F.; Brill G.: Resilient Smart Farming a conceptual and technological opportunity to strengthen resilience, ECPA2023 – UNLEASHING THE POTENTIAL OF PRECISION AGRICULTURE - Book of Abstracts (Posters), Bologna.
- [Eb23] Eberz-Eder D. et al.: Prototypische Entwicklungen zur Umsetzung des Resilient Smart Farming (RSF) mittels Edge Computing. 43. GIL-Jahrestagung, Resiliente Agri-Food-Systeme. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. PISSN: 1617-5468. ISBN: 978-3-88579-724-1. pp. 309-314. Osnabrück. 13.-14. Februar 2023.
- [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, ISBN: 978-3-88579-711-1, ISSN: 1617-5468.
- [Ka23] Kadi, A. et al.: Mobile semantische Dokumentation als Basis für KI-gestützte Beratungsdienste: Das GeoBox Buchungsjournal In (INFORMATIK 2023): Designing Futures: Zukünfte gestalten. Köllen, Berlin, S. 1639-1644, 2023.
- [Ku23a] Kuntke, F. et al: “GeoBox: design and evaluation of a tool for resilient and decentralised data management in agriculture.” Behaviour & Information Technology (2023).
- [Ku23b] Kuntke F. et al.: LoRaWAN security issues and mitigation options by the example of agricultural IoT scenarios. Trans Emerging Tel Tech. 2022;33(5):e4452.doi: 10.1002/ett.4452.
- [Ku20] Kuntke, F. et al.: Die GeoBox-Vision: Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. In: *Mensch und Computer 2020 - Workshopband*, S. 1-6, 2020.
- [SP23] SPARQL 1.1 Query Language, www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-query-20130321/, Stand 24.04.2023.
- [WA23] IBM Watson Assistant: KI-Chatbot mit hohem Bedienungskomfort, www.ibm.com/de-de/products/watson-assistant/artificial-intelligence, Stand 27.05.2023.