

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

Daniel Eberz-Eder<sup>1</sup>, Franz Kuntke <sup>2</sup>, Wolfgang Schneider<sup>1</sup> und Christian Reuter <sup>2</sup>

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

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

### 1 Einleitung

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

---

<sup>1</sup> Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, 55545 Bad Kreuznach, daniel.eberz@dlr.rlp.de, wolfgang.schneider@dlr.rlp.de

<sup>2</sup> Technische Universität Darmstadt, Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), 64289 Darmstadt, kuntke@peasec.tu-darmstadt.de  <https://orcid.org/0000-0002-7656-5919>, reuter@peasec.tu-darmstadt.de  <https://orcid.org/0000-0003-1920-038X>

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

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

## 2 Technologische Beschreibung Edge Computing

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

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

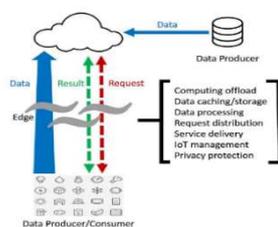


Abb. 1: Edge Computing, aus [Sh16]

steigenden Rechenkraft der Rechenzentren für die Verarbeitung anfallender Daten

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

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

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



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

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

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

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

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

### 4 Resilient Edge Computing

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

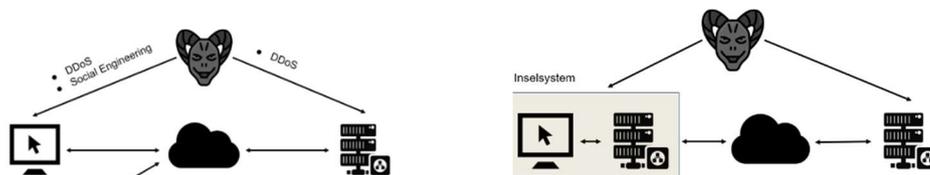


Abb. 3: Angriffsszenarien (links) und Lösungen durch die REC-Inselnetzfähigkeit (rechts), aus [Re18]

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

## 5 Fazit

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

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

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

#### Literaturverzeichnis

- [Bo12] Bonomi, Flavio; Milito, Rodolfo; Zhu, Jiang; Addepalli, Sateesh: Fog computing and its role in the internet of things. In: MCC'12 - Proceedings of the 1st ACM Mobile Cloud Computing Workshop, S. 13–15, 2012.
- [BI09] Bundesministerium des Innern: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie), 2009.
- [Ch11] Chun, Byung Gon; Ihm, Sunghwan; Maniatis, Petros; Naik, Mayur; Patti, Ashwin: CloneCloud: Elastic execution between mobile device and cloud. In: EuroSys'11 - Proceedings of the EuroSys 2011 Conference, S. 301–314, 2011.
- [Ka17] Kamilaris, Andreas; Gao, Feng; Prenafeta-Boldu, Francesc X.; Ali, Muhammad Intizar: Agri-IoT: A semantic framework for Internet of Things-enabled smart farming applications. In: 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, S. 442–447, 2016.
- [Ku20] Kuntke, Franz; Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Eberz, Daniel; Bernardi, Ansgar: Die GeoBox-Vision: Resiliente Interaktion und Kooperation in der Landwirtschaft durch dezentrale Systeme. In: Mensch und Computer 2020 - Workshopband, S. 1–6, 2020.
- [Re18] Reuter, Christian; Schneider, Wolfgang; Eberz, Daniel; Bayer, Markus; Hartung, Daniel; Kaygusuz, Cemal: Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft-mobil, dezentral, ausfallsicher. In: Mensch und Computer 2018 - Workshopband, S. 623–632, 2018.
- [Sa09] Satyanarayanan, M.; Bahl, P.; Caceres, R.; Davies, N.: The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing. In: IEEE Pervasive Computing Bd. 8, Nr. 4, S. 14–23, 2009.
- [Sh16] Shi, Weisong; Cao, Jie; Zhang, Quan ; Li, Youhuizi; Xu, Lanyu: Edge Computing: Vision and Challenges. In: IEEE Internet of Things Journal Bd. 3, IEEE, Nr. 5, S. 637–646, 2016.
- [Tz17] Tzounis, Antonis; Katsoulas, Nikolaos; Bartzanas, Thomas; Kittas, Constantinos: Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. In: Biosystems Engineering Bd. 164, Elsevier Ltd, S. 31–48, 2017.
- [Wa18] Wang, Junjue; Feng, Ziqiang; Chen, Zhuo; George, Shilpa; Bala, Mihir ; Pillai, Padmanabhan; Yang, Shao Wen ; Satyanarayanan, Mahadev: Bandwidth-efficient live video analytics for drones via edge computing. In: Proceedings - 2018 3rd ACM/IEEE Symposium on Edge Computing, IEEE, S. 159–173, 2018.