

Maschinenseitige Sicht auf die Cloudbasierte Landwirtschaft mit 5G-Nutzung

Lars Gerloff, Jan Schattenberg, Sören Walther

Kurzfassung

Cloud-Anwendungen zur Datenauswertung unabhängig von der IT-Ausstattung der landwirtschaftlichen Maschine ermöglichen eine schnelle Rückmeldung im laufenden Arbeitsprozess. Cloud-Lösungen zu erweitern, ist zudem einfacher und umfangreicher möglich, weil keine Hardwareanpassungen an der landwirtschaftlichen Maschine notwendig sind. Die Integration von verfügbaren IT-Geräten in Form von Smartphones in die Prozesskette erscheint daher logisch. Zudem kann die Landmaschine von Beginn an vernetzt entwickelt werden, wofür die Systemarchitektur neuartiger landwirtschaftlicher Maschinen um Schnittstellen und Kommunikationsstandards erweitert werden muss, was simultan mit der umfassenden Automatisierung hin zur Feldrobotik geschehen kann. Ein Konzept für die Systemarchitektur von Feldrobotik mit ersten technischen Lösungsansätzen aus dem Forschungsprojekt 5G Smart Farming werden in diesem Artikel beschrieben.

Schlüsselwörter

Vernetzte Landwirtschaft, Cloud-Dienste, Feldrobotik, Entwicklungstrends, IoT, 5G

Machine-side approach to cloud-based agriculture with 5G utilization

Lars Gerloff, Jan Schattenberg, Sören Walther

Abstract

Cloud applications for analysing data independently of the IT equipment of the agricultural machine enable rapid feedback during the ongoing work process. Extending cloud solutions is also easier and more comprehensive because no hardware adaptations to the agricultural machine are necessary. The integration of commonly available IT devices in the form of smartphones into the process chain therefore seems logical. In addition, the agricultural machine can be developed networked from the outset, for which the system architecture of new types of agricultural machines must be expanded to include interfaces and communication standards, which can be done simultaneously with the comprehensive automation towards field robotics. A concept for the system architecture of field robotics with initial technical solution approaches from the 5G Smart Farming research project are described in this article.

Keywords

Networked agriculture, cloud services, field robotics, development trends, IoT, 5G

Einstieg: Feldnahe Datenauswertung durch Cloud-Dienste

Die Anforderungen an die Reaktionsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit in der Landwirtschaft nehmen durch dynamischere Umwelteinflüsse, erweiterte Umweltauflagen und den steigenden Kostendruck stetig zu. Einerseits kann diesen Anforderungen durch eine höhere Leistungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Maschine begegnet werden, andererseits müssen die für den optimalen Arbeitsprozess notwendigen Daten vollständig und rechtzeitig vorliegen. Hierzu zählt auch die Generierung von Daten der Arbeitsprozessqualität, die ein großes Potential für die Optimierung der Prozessparameter bieten. Deren Live-Auswertung stellt bei komplexen Auswertungsalgorithmen ein reales Problem dar.

Die Rechenleistung auf den Maschinen zu installieren und somit auf dem Feld vorzuhalten, erzeugt dabei mehr Nachteile als Vorteile. Hochleistungsrechner sind empfindliche Geräte, die in der rauen landwirtschaftlichen Umgebung zusätzlichen Schutz gegen Staub, Erschütterungen und Temperatureinflüsse benötigen. Zusätzlich müssen die Trägerfahrzeuge für die Hardware vorbereitet werden, was die Anbringung und die Stromversorgung einschließen. Dieser Aspekt wird schwieriger, je kleiner die Maschinen werden. Ein Feldhäcksler wird hierfür größere Kapazitäten mitbringen als ein Feldroboter wie zum Beispiel der Orio von Naïo Technologies oder noch kleinere Geräte wie der Naïo Oz oder der Xaver von AGCO Fendt. Weiterhin ist die dauerhafte Auslastung des Hochleistungsrechners durch Daten einer einzelnen Maschine nicht gegeben, da die meisten Informationen nur sporadisch und vor allem saisonal ausgewertet werden müssen.

Die ersten Landtechnikhersteller bieten funktions- und qualitätsüberwachende Anwendungen an, die auf Cloud-Diensten aufgebaut sind. Die Funktionsüberwachung ist in der Regel an der Maschine oder dem Anbaugerät selbst installiert und verfolgt das Ziel, die ordnungsgemäße Funktionsweise sicherzustellen. Dazu gehören unter anderem die Erkennung von Verschleiß und Beschädigungen am Gerät. Nach diesem Prinzip hat die Firma LEMKEN ein kamerabasiertes Überwachungssystem von Grubberscharen entwickelt, das dem Fahrer eine Rückmeldung über den Zustand der Grubberschare, von Materialverschleiß bis Scharverlust, im ausgehobenen Zustand des Grubbers gibt. Über den Ort der Datenverarbeitung wurde nicht berichtet. Da es sich um eine ISOBUS-Terminallösung handelt, wird von einer lokalen Verarbeitung auf der Maschine ausgegangen [1].

Aufgrund der Größe des zuvor genannten Gespanns und der Häufigkeit der Kameraauswertung, stets im ausgehobenen Zustand im Vorgewende, ist die lokale Lösung möglich. Wird die Auswertungsfrequenz geringer, ergibt die Ausstattung der Feldmaschine mit einer Datenauswertungseinheit aus Kostengründen keinen Sinn. So hat die Firma CLAAS eine App-Anwendung zur Qualitätsprüfung des Kornbruches für die Maissilageernte entwickelt [2]. Der Anwender entnimmt aus dem frisch gehäckselten Mais eine Probe und breitet diese auf einem standardisiertem Testbrett aus. Mit dem Smartphone muss ein Foto von der Probe gemacht werden, das anschließend auf entfernte Server hochgeladen und ausgewertet wird. Anschließend erhält der Anwender den CORN SILAGE PROCESSING SCORE (CSPS) zurück. Der CSPS ist eine Kennzahl für die Kornbruchqualität in der Silage [3]. Die Ergebnisse können direkt für die Anpassung der Maschinenparameter genutzt werden.

Bei der Verwendung kleinerer bodengebundener Maschinen und unbemannter Flugdrohnen wird die Unterbringung und die Versorgung von zusätzlichen Recheneinheiten herausfordernder oder gar unmöglich. Zudem sind die Informationen der Auswertung auf der Maschine von abnehmendem Nutzen, sobald der Anwender nicht mehr vor Ort anwesend ist. Durch eine Cloud-Verfügbarkeit der Informationen, können diese nun auch per App auf dem Smartphone zur Bewertung und Entscheidungsfindung genutzt werden. Somit liegen eindeutige Vorteile in der verteilten und vernetzten Nutzung von unbemannten Maschinen und Hochleistungsrechnern. Die kleineren aber dafür spezialisierteren Feldroboter verändern somit die Struktur der Datenverarbeitung, weil Aufgaben auf unterschiedliche Instanzen verteilt werden müssen.

Dies hat Folgen für die Systemstrukturen mobiler Maschinen, egal ob sie in der sequenziellen Sense-Model-Plan-Act Architektur (SMPA-Architektur) implementiert wurden, in der verhaltensbasierten Architektur aufgebaut wurden oder eine hybride Mischvariante bilden. Bevor die Einwirkung einer verteilten Datenverarbeitung erläutert wird, wird kurz auf die Architekturen eingegangen.

Die SMPA-Architektur bearbeitet sequenziell die vier Phasen (Sensing, Modelling, Planning, Acting), ohne eine zwischenzeitliche Rückführung von Ergebnissen zu ermöglichen. Hier müssen die einzelnen Funktionen klar in die vier Phasen eingeteilt werden, was sich als schwierig herausstellt. Allgemeiner wird diese Betrachtung in den verhaltensbasierten Architekturen, die alle implementierten Verhalten parallel durchführen können, wenn dies erforderlich ist. Hier existieren somit nur Sensordaten, die den einzelnen Verhalten zugeführt werden und hier in Aktionen überführt werden. Verhaltensbasierte Architekturen sind jedoch eher in reaktiven Systemen zu finden, da sich eine Aktionsdurchführung über einen längeren Zeithorizont als schwierig realisierbar herausgestellt hat. Somit werden die beiden reinen Ansätze oftmals zu hybriden Strukturen gemischt [4].

Die orts- und maschinenverschiedene Datenerhebung, Datenauswertung und Aktionsdurchführung stellen neue Herausforderungen an ohnehin immer umfangreichere Systeme. Kommunikationsprotokolle und Übertragungswege müssen an den möglichen Übertragungsraten und Datendurchsätzen gemessen werden, um die Anforderungen jeder Anwendung einzuhalten.

Einblick: 5G Smart-Farming

An diese Herausforderungen knüpft das Forschungsprojekt 5G Smart Country an [5]. Dieses gliedert sich in die Anwendungsräume 5G Smart Forest für die Forstwirtschaft und 5G Smart Farming für die Landwirtschaft auf, wobei genauer auf die Aktivitäten im Bereich der Landwirtschaft eingegangen wird. Das Hauptziel des Teilbereiches besteht in der Effizienzsteigerung der Landwirtschaft unter der Nutzung datenbasierter Anwendungen. Hierbei werden Aspekte der Nachhaltigkeit und Transparenz berücksichtigt, um die gesellschaftliche Akzeptanz zu stärken. Zur Erreichung des Projektziels wird der Fokus auf die Kommunikation - an dieser Stelle sind damit die Datenflüsse, Protokolle und genutzten Webtechnologien gemeint - zwischen den Maschinen gelegt, wodurch der Aufwand für den Aufbau und die Einrichtung dieser

Maschinen erheblich verringert werden sollte. Die Auswahl der Standards erfolgte auf Basis der Verfügbarkeit und der Eigenschaften.

Eine DJI M30T wurde als unbemannte Flugdrohne (UAV) in dem Projekt genutzt, weil sie werksseitig alle notwendigen Module für die Feldüberwachung integriert und zudem eine hohe Flugsicherheit und -stabilität aufweist. Als Schnittstellen zur 5G Smart Farming Infrastruktur werden die handelsübliche DJI RC Plus Fernsteuerung und ein Payload SDK verwendet. Realisiert wird die Datenanbindung über einen Raspberry Pi 4, welcher mit einem zusätzlichen 5G-Modem ausgestattet ist. Zunächst galt es, eine geeignete Maschine für die Feldbearbeitung (UGV) zu finden. Zentral ist hierbei eine möglichst frei programmierbare Softwareschnittstelle für die umfassende Möglichkeit zur Vernetzung der Maschine. Außerdem muss die Maschine mit einem universalen Geräteträger ausgestattet sein, um verschiedene Prozessschritte abbilden zu können. Hierfür wird ein großer Bauraum unter dem Roboter benötigt. Letztlich konnte nach Abwägung aller Vor- und Nachteile mit dem Naïo Dino [6] ein guter Kompromiss gefunden werden, wobei anzumerken ist, dass die Fahrgeschwindigkeit batterieelektrischer Feldroboter mit wenigen km/h im Allgemeinen relativ niedrig ist. Die Infrastruktur zur Vernetzung der Maschine wird nachgerüstet, um Maschinendaten versenden und neue Arbeitsaufträge erhalten zu können. Die Verwendung der Maschinen wird in **Bild 1** schematisch gezeigt.

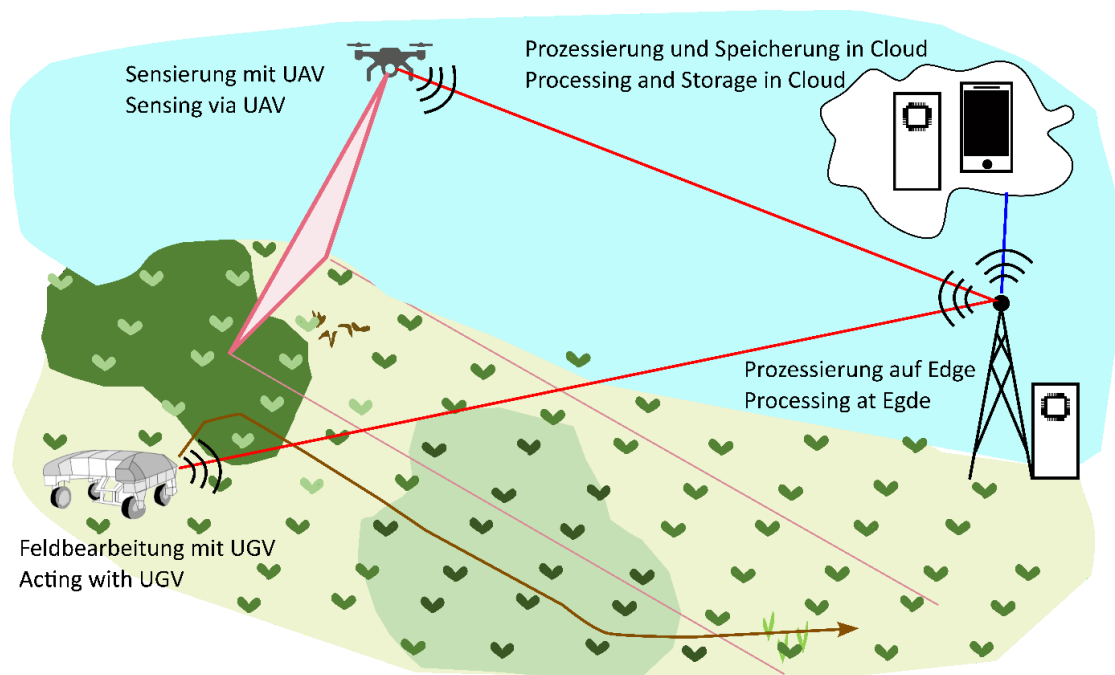


Bild 1: Maschinenkonstellation 5G Smart Farming
Figure 1: Machine constellation 5G Smart Farming

Die Systemarchitektur basiert zumindest im maschinennahen Bereich auf einem ROS2-System. ROS steht für Robot Operating System, eine Middleware zur vereinfachten Kombination von Sensorik, Aktorik und Algorithmik im Robotik Bereich, welche sich in Version 2 zudem

durch eine verbesserte Nutzbarkeit für Mehrmaschinenanwendungen und eine zuverlässigere Datenübertragung auszeichnet. Der Maschinenzugriff erfolgt herstellerspezifisch, beispielsweise bei der Drohne über das DJI Payload-SDK bzw. beim Feldroboter mittels CAN-Bus. Für die Datenübertragung ist ein ROS2-Netzwerk implementiert. Dazu existieren Publish- und Subscribe-Topics auf dem UAV respektive dem UGV.

Eine Besonderheit des vorgestellten Systems liegt in der Ausgestaltung der Edge/Cloud. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Edge-Netzwerk am Feldrand und der zentralen Process-and-Storage-Cloud. Ersteres steht für den Datenaustausch innerhalb des ROS2-Netzwerks maschinennah zur Verfügung. Ein weiterer Transfer zur zentralen Process-and-Storage-Cloud erfolgt dann mittels geeigneter Protokolle. Für Maschinendaten und Steuerbefehle kommt das MQTT-Protokoll [7] zum Einsatz, während umfangreiche Bilddaten auf S3-Objekt-Speicher abgelegt werden; beides Techniken aus der Webtechnologie. Über einen Access-Token-Ansatz werden weiterführende Aspekte wie die Datensicherheit betrachtet [8]. In der zentralen Process-and-Storage-Cloud erfolgt die Speicherung und Auswertung der Daten, unter anderem die KI-gestützte Analyse von Drohnenaufnahmen hinsichtlich Unkrautnestern und Wildtieren. Diese Informationen werden dem Landwirt per Webapp zur Verfügung gestellt und dienen der weiteren Missionsplanung. In **Bild 2** wird die Funktions- und Übertragungsstruktur beschrieben, die hinter der Maschinenkonstellation steht.

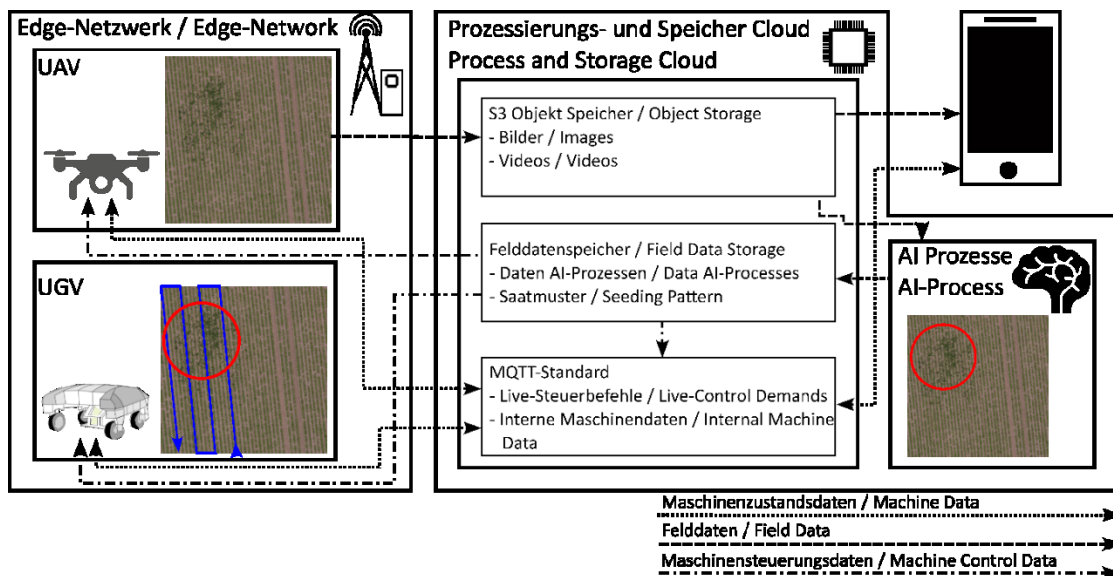


Bild 2: Konzept der Funktions- und Übertragungsstruktur im Use Case Unkrautbekämpfung
Figure 2: Concept of the function and transmission structure for the use case weed control

Entwicklungsansatz unter Berücksichtigung der Maschineneigenschaften

Zentralgeplante Missionen werden auf der Edge- & Cloud Infrastruktur erstellt und anschließend auf den Feldroboter transferiert. Die Edge- & Cloud nutzt zur Planung verschiedene Da-

tenquellen, die in ihr zusammenkommen. Die vertikale Positionierung des Geräteträgerrahmens wird durch das UGV eingeleitet, weil hier die Kopplung zwischen Pfadregelung und Werkzeugeingriff erfolgt. Das Anbaugerät regelt anschließend erforderliche lokale Eingriffe wie die Positionierung einzelner Module. Geschlossen ist der Datenkreislauf durch den Informationsrückfluss der Erfolgskontrolle vom Anbaugerät zur Cloud. Da diese somit wieder zentral zur Verfügung stehen, können sie als Basis für die Missionsplanung prozesstechnisch nachgelagerte Arbeitsschritte genutzt werden. Das **Bild 3** zeigt den Feldroboter als UGV im Fokus, wobei linker Hand das modulare Anbaugerät und rechter Hand die Cloud-Anbindung dargestellt sind.

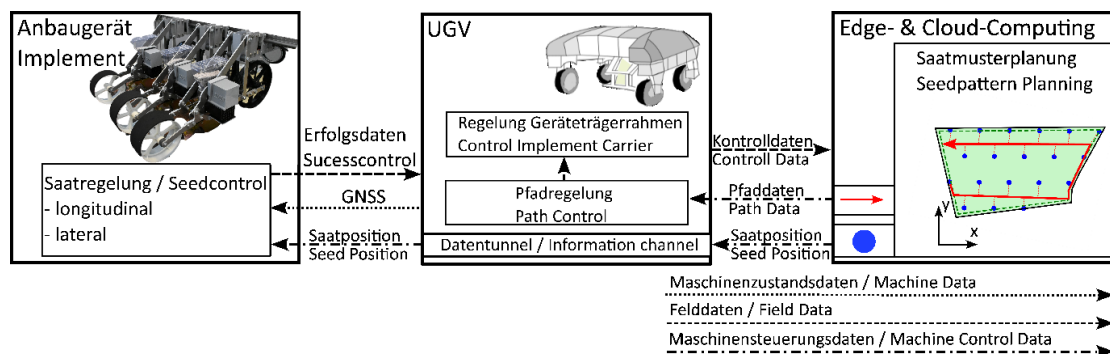


Bild 3: Konzept der Funktions- und Übertragungsstruktur im Use Case Unkrautbekämpfung
Figure 3: Concept of the function and transmission structure for the use case weed control

Die besonderen Vorteile der in diesem Forschungsprojekt realisierten Systemarchitektur zeigen sich bei der Integration neuer Anbaugeräte. Während sich aktuell verfügbare Feldroboter vor allem auf die mechanische Unkrautbekämpfung fokussieren, wird im Rahmen des Projekts 5G Smart Farming auch ein neuartiges Säaggregat für die Umsetzung des Spot Farming Ansatzes [9] betrachtet. Dessen Vorteile liegen in einer mechanischen Einzelkornsaat, welche ohne zusätzliche Pneumatik auskommt und zudem georeferenziert erfolgt. Für die Umsetzung flexibler Saatmuster im Rahmen neuer Pflanzenbausysteme ist es allerdings von größerer Relevanz, dass die Saatkornablage sowohl in Fahrtrichtung (longitudinal) als auch in Querrichtung (lateral) beeinflusst werden kann. Der Informationsrückfluss an die Cloud beinhaltet die Geokoordinaten der erfolgten Aussaat, die für nachfolgende Arbeitsprozesse in der Pflanzenpflege genutzt werden können.

Die modulare Vorgehensweise bietet eine Vielzahl von Vorteilen. So besteht die Möglichkeit, mit mehreren Partnern an den einzelnen Komponenten zu entwickeln, während das System in seiner Gesamtheit bereits nach einem Iterationsschritt der Entwicklung konsistente Datenflüsse ermöglicht. Auf diese Weise und aufgrund des Cloud-Ansatzes können Algorithmen zur Datenauswertung und Missionsplanung weiterentwickelt werden, ohne dass auf den Maschinen direkt etwas geändert werden muss. Eine Skalierbarkeit der Rechenleistung ist ebenso gegeben, wie eine unabhängige Austauschbarkeit von einzelnen Maschinen wie UAV oder UGV. Herausfordernd andererseits ist es, eine Vielzahl verschiedener und herstellereinspezifischer Schnittstellen zu nutzen und für den eigenen Anwendungsfall anzupassen.

Zusammenfassung

Dieser Artikel diskutiert Möglichkeiten zur Vernetzung von bestehender und zukünftiger Landtechnik. In beiden Fällen zeichnet sich eine größere Rolle von Cloud-Anwendungen zur Datenauswertung und Speicherung ab, weil ihre Flexibilität und Performance derer lokaler Lösungen übersteigen. Diese Vernetzung erfordert einen umfangreichen Datenaustausch für den geeignete Standards und Technologien ausgewählt werden müssen.

Auf dieser Erkenntnis aufbauend wurde eine Systemarchitektur konzipiert, die unbemannte Feldrobotik mit Edge- & Cloud Rechen- und Speichereinrichtungen vernetzt. Diese Integration entfernter Infrastruktur hat Auswirkungen auf die IT-Ausstattung der Feldrobotik, die sich damit wie IoT-Geräte verhalten, bis hin zu den Anbaugeräten, die eine eigene Intelligenz zur Beeinflussung des Arbeitsprozesses beinhalten können. Die Entwicklung der einzelnen Aggregate und Anwendungen können unabhängig voneinander und somit parallel erfolgen. Diese Entwicklung findet aktuell statt und erste praktische Erprobungen werden zeitnah angestrebt.

Literatur

- [1] N.N.: Kamera überwacht Verschleiß von Grubberscharen. URL: <https://lemken.com/de/de/lemken-aktuelles/landtechnik-news/detail/kamera-ueberwacht-verschleiss-von-grubberscharen>, Zugriff am: 11.01.2024.
- [2] Belau, S.; Neitemeier, D.; Witte, J.; Töniges, T.; Ehlert, Y.; Amsbeck, L.: App based chop quality estimation for silage maize harvest quality optimization. In: VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.): LAND.TECHNIK AgEng 2023 – The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte, Bd. 2427, Düsseldorf: VDI Verlag 2023, DOI: 10.51202/9783181024270, S. 321-326.
- [3] David R. Mertens: Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages. 2005.
- [4] Hertzberg, J.; Lingemann, K.; Nüchter, A.: Mobile Roboter – Eine Einführung aus Sicht der Informatik. eXamen.press, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg 2012, ISBN: 978-3-642-01725-4.
- [5] Böhm, T.: 5G Smart Country – 5G Pionierprojekt im ländlichen Raum. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fakultät II – Department für Informatik, Abt. Wirtschaftsinformatik / VLBA, URL: <https://5g-smart-country.de/>, Zugriff am: 23.01.2024.
- [6] N.N.: Farmrobotik für die Unkrautbekämpfung. URL: <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2022/33/farmrobotik-fuer-die-unkrautbekaempfung>, Zugriff am: 15.01.2024.
- [7] N.N.: MQTT - The Standard for IoT Messaging. URL: <https://mqtt.org/>, Zugriff am: 23.01.2024.
- [8] N.N.: Keycloak. URL: <https://www.keycloak.org/>, Zugriff am: 23.01.2024.

- [9] Wegener, J. K.; Urso, L.-M.; Hörsten, D. von; Hegewald, H.; Minßen, T.-F.; Schattenberg, J.; Gaus, C.-C.; Witte, T. de; Nieberg, H.; Isermeyer, F.; Frerichs, L.; Backhaus, G. F.: Spot farming – an alternative for future plant production (2019).

Autorendaten

M. Sc. Lars Gerloff und M. Sc. Sören Walther sind Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für mobile Maschine und Nutzfahrzeuge der TU Braunschweig.

Dr.-Ing. Jan Schattenberg ist Stellvertretender Institutsleiter des Instituts für mobile Maschine und Nutzfahrzeuge der TU Braunschweig.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Gerloff, Lars; Schattenberg, Jan; Walther, Sören: Maschinenseitige Sicht auf die Cloudbasierte Landwirtschaft mit 5G-Nutzung. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2023. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2024. S. 1-8

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202401171530-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2023/chapter/automatisierung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.