

Mobilfunk-Campusnetze für die Landwirtschaft

Dezentrale intelligente Vernetzungssysteme

Norman Franchi¹, Thomas Welsch¹, Benjamin Striller², Frank Heisig³, Gerhard Fettweis¹

Abstract: Drahtlose Kommunikation für die Landwirtschaft sowie 5G und Campusnetze sind in aller Munde. Der vorliegende Beitrag setzt sich mit der Bedeutung und der Nutzbarmachung von 5G und Campusnetzen für die Landwirtschaft, wie auch mit den dabei zu beachtenden wesentlichen regulatorischen und technischen Aspekten, Zusammenhängen und Fragestellungen auseinander. Dabei werden 5G-Anwendungen und Campusnetz-Lösungsansätze, die im Rahmen des Experimentierfelds LANDNETZ entwickelt werden, sowie die bei der Realisierung des ersten landwirtschaftlichen 5G-Campusnetzes in Deutschland im Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch gewonnenen Erkenntnisse und Handlungsbedarfe erläutert.

Keywords: Drahtlose Kommunikation, 5G, Campusnetze, Cloudnetze, Local Edge Cloud

1 Bedeutung von Mobilfunk und 5G für die Landwirtschaft

Die mobile breitbandige und echtzeitfähige Vernetzung mit Hilfe von neuen Kommunikations- und Clouddiensten ist ein maßgeblicher Treiber der Digitalisierung in der Landwirtschaft [Fr18, Fe18]. Dieser Treiber kann seine volle Wirkung zur Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse und Produkte jedoch erst dann entfalten, wenn er flächendeckend, durchgängig und zuverlässig für landwirtschaftliche Nutzer zur Verfügung steht. Allerdings ist genau dies aktuell in Deutschland, aber auch in anderen EU-Staaten, die Kernherausforderung, weil breitbandige Zugänge zu den öffentlichen Mobilfunknetzen nationaler Netzbetreiber bis dato vorwiegend in Ballungsräumen bereitgestellt werden, wohingegen in ländlichen und landwirtschaftlich genutzten Räumen meist nur eine Mobilfunkabdeckung mit schmalbandigen Netzzugängen oder teilweise gar keine Mobilfunkversorgung vorhanden ist. Mit den Glasfaser-Ausbastrategien des Bundes und der Länder werden die Anbindungs- und Versorgungsmöglichkeiten zwar schrittweise verbessert, jedoch adressiert diese Strategie in erster Linie Haushalte und nicht die mobile Versorgung in der Fläche. Eine signifikante Verbesserung dieser Situation mit Blick auf die nächsten Jahre ist aktuell nicht abzusehen.

¹ Technische Universität Dresden, Institut für Nachrichtentechnik, Vodafone Stiftungsprofessur Mobile Nachrichtensysteme, 01069 Dresden, norman.franchi@tu-dresden.de, thomas.welsch@tu-dresden.de, gerhard.fettweis@tu-dresden.de

² Technische Universität Dresden, Institut für Naturstofftechnik, Professur für Agrarsystemtechnik, 01069 Dresden, benjamin.striller@tu-dresden.de

³ Sächsisches Landesamt für Umwelt Landwirtschaft und Geologie, Pillnitzer Platz. 3, 01326 Dresden, frank.heisig@smul.sachsen.de

Um die Landwirtschaftsbranche auf dem Weg zur Digitalisierung dadurch nicht auszubremsen, benötigt es neue Ansätze, um die Landwirtschaft auch unabhängig von Ausbaustrategien öffentlicher Mobilfunkbetreiber für die Nutzung mobiler, breitbandiger und echtzeitfähiger Kommunikations- und Cloudnetze zu befähigen. Die Konzeption von Mobilfunk-Campusnetzen (MCN) und deren Nutzbarmachung für die Landwirtschaft ist solch ein neuer Ansatz. Mit Hilfe von MCN können erstmals eigenständige, dezentrale intelligente Vernetzungssysteme mit integrierten Clouds und eigenem Frequenzspektrum realisiert werden, die direkt vor Ort in einem Landwirtschaftsbetrieb oder Betriebsverbund mit zusammenhängenden Flächen (ähnlich einem Gewerbegebiet) aufgebaut und genutzt werden können. Das Konzept von MCN ist ursprünglich im Kontext von Industrie 4.0 entstanden, um für die Industrieanwenderbranchen von Fertigungs- und Prozessautomatisierung sichere und zuverlässige Kommunikationslösungen zu schaffen, die auch unabhängig von öffentlichen Mobilfunknetzen realisierbar und betreibbar sind [IR20].

2 5G-Anwendungen für die Landwirtschaft

Zahlreiche digitale landwirtschaftliche Anwendungen fußen bereits heute in hohem Maße auf mobiler Vernetzung, angefangen bei der Übertragung von Korrektursignalen für die Satellitennavigation bis hin zu Telemetrie und Fernwartung. Dabei stellen diese Anwendungen unterschiedlichste Anforderungen an Datenraten, Latenzzeiten sowie zeitliche und räumliche Verfügbarkeit. Im Folgenden wird eine kompakte Übersicht zu Anwendungen in LANDNETZ gegeben, die zum einen erst mit Einführung von 5G (unabhängig von der Nutzung öffentlicher Mobilfunknetze oder privater Campusnetze) und zum anderen erst durch die Verfügbarkeit von 5G-Campusnetzen ermöglicht werden.

Allgemeine 5G-Anwendungen: Prädestiniert ist 5G für die Teleoperation und Fernüberwachung von (teil)autonomen Maschinen oder Drohnen mit der Echtzeitübertragung von Bilddaten und Steuerungssignalen. Ähnlich hohe und zeitgleiche Anforderungen an Latenz und Datenrate ergeben sich für Augmented- und Mixed-Reality-Anwendungen bspw. im Remote-Service. 5G-Datenraten sind zudem bei der Cloud-basierten Bildverarbeitung in Echtzeit für bspw. eine teilflächenspezifische Beikrautregulierung erforderlich.

5G-Campusnetz-Anwendungen: Besondere Relevanz haben landwirtschaftliche 5G-Campusnetze zum einen für Anwendungsfälle, deren Bedarf an eine breitbandige lokale Funkvernetzung hoch ist. Zum anderen können landwirtschaftliche MCN ihre Vorteile durch kurze Übertragungswege und lokale Datenverarbeitung in lokalen Cloudstrukturen insbesondere bei Anwendungen mit zeitoptimierter Datenübertragung und -verarbeitung ausspielen, für die eine Internetbindung nachrangig ist.

Teilflächenspezifische Maßnahmen mittels Applikationskarten, wie Pflanzenschutz und Düngung, sind landwirtschaftstypisch stark witterungsabhängig. Daraus ergibt sich der Wunsch nach einem minimierten Zeitfenster für die Erstellung der Applikationskarte bis zur Applikation. Neben dem Sensoreinsatz direkt auf der Maschine während des

Pflanzenschutz- oder Düngeeinsatzes sind vorhergehende Drohnenbefliegungen mit RGB- und Multispektralkameras zur hochauflösenden und vollständigen Erfassung des Pflanzenzustandes und der Biomasse anzutreffen. Hierbei können zwischen Drohneinsatz und Vorliegen der Applikationskarte jedoch ein bis zwei Tage vergehen. Der Bilddaten-Transfer von Drohne zu Datenverarbeitung erfolgt oft ebenso manuell wie die Übertragung der Applikationskarte an die Ausbringtechnik per USB-Stick oder Funkkommunikation. Der Aufwand dieses absätzigen Verfahrens kann dessen Einsatz hemmen. Ein Optimierungsansatz wurde bereits in den Niederlanden durch Bildübertragung von der Drohne mit Datenraten von 120 Mbit/s in einem experimentellen Netzwerk demonstriert [Ew18]. In LANDNETZ wird dieser Ansatz zu einem „durchgängigen Prozessablauf in Echtzeit“ weiterentwickelt und erprobt. Der Drohnenflug erfolgt mit geringem Vorlauf parallel zur Applikation auf dem Feld, so dass bereits kurze Zeit nach dem Drohnenstart mit der Düngung oder der Pflanzenschutzanwendung begonnen werden kann. Die erforderlichen Bilddaten werden von der Drohne direkt an die lokale Cloud des MCN gestreamt, wo die Applikationskartenerstellung in Echtzeit erfolgt. Die Applikationsdaten werden dann über 5G verzögerungsfrei an das Terminal der Applikationstechnik übertragen. Ein User Interface erlaubt den Zugriff auf die Cloud und die dortige Kartenerstellung, um das Ergebnis validieren und bei Bedarf eingreifen zu können.

3 Lösungsansätze für Mobilfunk-Campusnetze

Im Rahmen von LANDNETZ werden erstmals Mobilfunk-Campusnetze für landwirtschaftliche Anwendungen und Einsatzumgebungen konzipiert, entwickelt und begleitet von wissenschaftlichen Untersuchungen erprobt. Mit 5G können erstmalig virtualisierte, eingebettete oder eigenständige Campusnetze realisiert werden [IR20]. Die ersten beiden Varianten sind in [IR20] erläutert und erfordern die Verfügbarkeit eines öffentlichen 5G-Netzes sowie der Kooperation mit einem öffentlichen Netzbetreiber. Die Variante eines eigenständigen 5G-Campusnetzes kann unabhängig von öffentlichen 5G-Netzen aufgebaut und betrieben werden. Dieser Beitrag konzentriert sich auf eigenständige dezentrale Campusnetze, da diese unabhängig von etwaigen Ausbauzielen öffentlicher Netzbetreiber betrachtet und untersucht werden können. Dabei werden zwei bauliche Ausprägungsformen unterschieden: zum einen Mobilfunk-Campusnetzanlagen mit festem Standort und zum anderen mobile, d. h. ortsveränderliche, Campusnetzanlagen.

Standortfeste Landwirtschafts-Campusnetze werden im Grunde genommen wie normale Mobilfunkstandorte geplant und in Berücksichtigung mitnutzbarer Infrastruktur mit geeigneter Höhe, bspw. als kompakte Dachkonstruktionen auf Gebäuden (wie im LVG Köllitsch), an Häuserwänden, Schornsteinen, Laternen oder auch Windkraftanlagen installiert. Dabei werden die Einstellungen für die Antennenausrichtung, ggf. MIMO-Beamforming-Konstellationen und Sendeleistungen entsprechend der gewünschten Netzabdeckung konfiguriert. Falls keine Infrastruktur mit geeigneter Höhe für Installationszwecke zur Verfügung steht, können ebenfalls Mobilfunkmasten mit Höhen

bis zu 70 m (und entsprechendem Fundament) errichtet werden. Der grundlegende Unterschied zu öffentlichen Mobilfunknetzen besteht darin, dass alle für ein Mobilfunknetz relevanten Komponenten und Funktionen in einer kompakten und in ihrem Leistungsumfang an die zu steuernden Funkzugangsknotenpunkte angepassten Form lokal aufgebaut werden. Bei 5G handelt es sich dabei um sog. 5G New Radio (NR) Stand-Alone (SA) Netzwerktechnik, bei der lokal neben dem Funkzugangnetzwerk (RAN: Radio Access Network) ebenfalls das Kernnetzwerk (Core Network), welches das komplette Netzwerk und den Datenfluss steuert, integriert wird. Um Anwendungen mit niedrigen Ende-zu-Ende-Latenzen zu realisieren und/oder eine Unabhängigkeit von Internetdiensten zu erreichen, können zudem lokale Applikationsrechner-einheiten (auf denen die Daten prozessiert bzw. Apps ausgeführt werden) in das Netzwerk integriert werden. Die Kombination aus Kernnetzwerk und Applikationsserver(n) bezeichnen wir als **Local Edge Cloud (LEC)**. Die Netzdimensionierung, bspw. die Anzahl verteilter Antennenstandorte, und die Netzabdeckung sind allein durch die Grundstücksgrenzen und Anwendungsanforderungen limitiert. Am LVG Köllitsch wurde im Dezember 2020 Deutschlands erstes standortfestes 5G MCN für einen landwirtschaftlichen Betrieb in Betrieb genommen und in diesem Zuge auch erstmals ein Antrag bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) zur Nutzung sog. „lokaler 5G-Frequenzen“ für die Landwirtschaft gestellt.

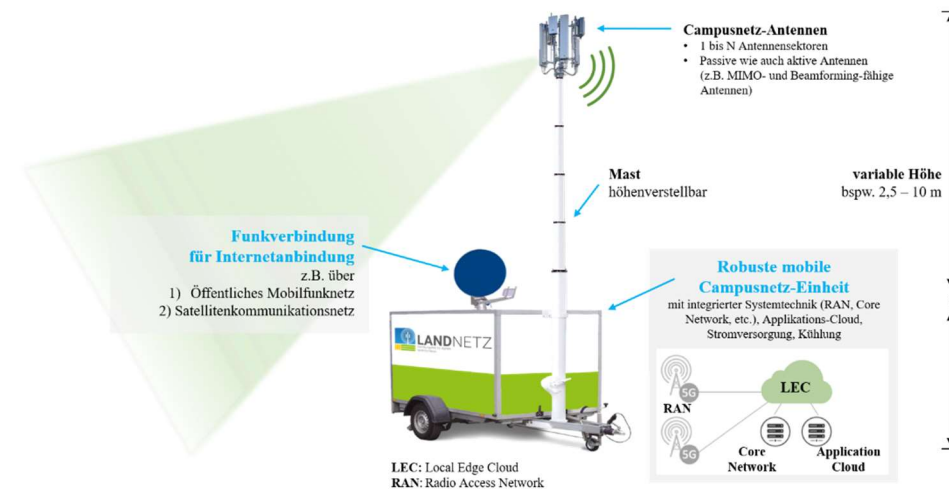


Abb. 1: Konzeptdarstellung eines mobilen Landwirtschafts-Campusnetzes in LANDNETZ

Mobile Landwirtschafts-Campusnetze beinhalten die gleiche Systemtechnik wie standortfeste Campusnetze, allerdings i. d. R. ohne verteilte Antennen, dafür integriert in einen kompakten mobilen Aufbau mit robuster und energieautarker Auslegung sowie höhenverstellbarem Mast und variabler Antennenausrichtung. Dieser MCN-Typ entspricht quasi einer Network-In-A-Box-Lösung mit eigenständigem Mobilfunknetz inkl. Edge-Cloud und – falls gewünscht – separater Internetanbindungslösung. Abb. 1 zeigt schematisch das in LANDNETZ entwickelte Konzept eines mobilen MCN. 5G bietet

zudem auch Ad-hoc-Netzwerk-Funktionen, die für den Einsatz von mobilfunkbasierter Maschine-zu-Maschine (M2M) Kommunikation geeignet sind. In Kombination mit mobilen MCN ermöglichen sich dem Anwender im landwirtschaftlichen Bereich damit weitere Optionen zur temporären orts- und bedarfserforderlichen Nutzung, auch für Mesh-Netze. Auch im LVG Köllitsch wird zu diesem Zweck ein mobiles MCN geschaffen.

3.1 Bestimmungen bzgl. Campusnetz-Frequenzbeantragung/-nutzung

Um im Frequenzband 3,7 – 3,8 GHz senden zu dürfen, muss bei der BNetzA ein Antrag zur Frequenznutzung gestellt werden [BN21]. Dies ist seit 21.11.2019 möglich. Der Antragsteller muss nach Rechtezuteilung innerhalb eines Jahres den Nachweis auf Nutzung erbringen. Das Verfahren wurde ursprünglich für industrielle MCN entwickelt. Die Grundstücke sind dabei i. d. R. in sich zusammenhängend (d. h. nicht fragmentiert) und kompakt, wobei das Flächenpolygon üblicherweise mit wenigen Eckpunkten beschreibbar ist. Der Antrag erlaubt daher bisher nur eine maximale Anzahl von 31 Polygon-Eckpunkten. Entscheidender Bestandteil des Antrags ist die Darlegung des Frequenznutzungskonzepts, welches den erforderlichen Frequenzbedarf inhaltlich begründet. Die BNetzA zielt dabei auf eine berechnete und effiziente Nutzung der beantragten Frequenzen ab. Der Frequenzbedarf ist plausibel und in geeigneter Detailtiefe darzulegen. Wichtig sind die Erläuterung der geplanten Frequenznutzung sowie die Begründung des Bandbreitenbedarfs. Eine detaillierte Darlegung von Nutzungsanwendungen, Datenratenanforderungen, geschätzten Teilnehmerzahlen, Signalpegeln, Zeitplan, Versorgungsgebiet und die Benennung der versorgten Flächen unterstützt dies.

3.2 Bisherige Hürden bei der Beantragung und Nutzung für die Landwirtschaft

Obwohl seitens der Politik, Verbände und Industrie die Nutzung der Campusnetz-Frequenzen auch für die Landwirtschaft gewollt und unterstützt wird [BW20, VD20], gibt es seitens der Beantragung und praktikablen Nutzbarmachung der Frequenzen noch Hürden, die regulatorisch korrigiert werden müssen. Diese sind im Folgenden (anhand der gewonnenen Erkenntnisse in LANDNETZ und Köllitsch) aufgeführt (Hürden H1 – H3):

H1: Kleinteilige, nicht arrondierte landwirtschaftsbetriebliche Flächenstrukturen:

In der Landwirtschaft wird ein MCN rein für direkt zusammenhängende Grundstücke eher die Ausnahme sein. Oftmals liegen zwischen Einzelflächen eines Betriebes auch Grundstücke anderer Betriebe und/oder Privathaushalte. Das heißt, im Allg. handelt es sich nicht um eine geschlossene, kompakte Fläche, sondern um fragmentiert und teilweise weit auseinanderliegende Nutzflächen. Damit ergibt sich schon bei der Beantragung nach derzeitigem Stand das Problem der Darstellung durch ein Polygon mit 31 Eckpunkten. Zudem ist aktuell pro Antrag nur die Angabe eines Polygons möglich, d.h. für abgesetzte Teilflächen müssten aufwändig jeweils separate Anträge gestellt werden.

H2: Einbeziehung fremder Grundstücke: Aus H1 ergibt sich oft zwangsläufig, dass fremde Grundstücke in den Versorgungsbereich des geplanten Campusnetzes geraten, wie

z. B. in Köllitsch, wo der Ortskern inmitten der umschließenden Nutzflächen des LVG liegt. Die Fremdgrundstücke in solch einem Fall in Bezug auf die Mobilfunkausleuchtung „auszublenden“ ist selbst bei einem Campusnetz mit fixen Antennenstandorten planungs- und installationstechnisch so aufwändig, dass es wirtschaftlich nicht zu realisieren ist. Alternativ bestünde die Möglichkeit, die Zustimmung der Eigentümer einzuholen, was jedoch ebenfalls aus verschiedenen Gründen (z. B. Funkkritiker, Konkurrenzbetrieb, etc.) zu einer unüberwindbaren Hürde werden kann. Die notwendige Zustimmung von Eigentümern fremder Grundstücke im Versorgungsbereich ist eine inhärente Problemlage des Antragsverfahrens, die es zwingend zu lösen gilt.

H3: Punktuelle, temporäre, mobile Nutzung: Das aktuelle Antragsverfahren bildet die Möglichkeit dieser Funknetznutzung leider noch nicht ab. Für Voruntersuchungen sollen daher in LANDNETZ zunächst Kurzzeitlizenzen zum Einsatz kommen. Für den späteren allgemeingültigen Produktiveinsatz ist dieses Vorgehen jedoch nicht sinnvoll und in der Praxis kaum handhabbar. In LANDNETZ wird daher ein Modell anvisiert, bei dem eine temporäre, punktuelle Nutzung mit mobilen MCN für ein definiertes Nutzungsareal pauschal mit einem wirtschaftlich sinnvollen Aufwand genehmigt werden kann. Zudem ist auch in diesem Fall H2 zu lösen.

Danksagung: Das Projekt *Experimentierfeld LANDNETZ* wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert und auf Länderebene durch die beiden Sächsischen Staatsministerien für Regionalentwicklung (SMR) und Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL) maßgeblich unterstützt.

Literaturverzeichnis

- [BW20] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Leitfaden 5G-Campusnetze – Orientierungshilfe für kleine und mittelständische Unternehmen“, April 2020.
- [BN21] Bundesnetzagentur (BNetzA): Regionale und lokale Netze, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/OeffentlicheNetze/LokaleNetze/lokalenetze-node.html, Stand 10.01.202.
- [Fr18] Franchi, N.: 5G als Booster der Landwirtschaft, Magazin Technik in Bayern (TiB), Ausgabe 05/2016.
- [Fe18] Fettweis, G.; Franchi, N.: Das Netz der Netze – Und seine Bedeutung für die Digitale Landwirtschaft, 27. Hülsenberger Gespräche 2018 – Landwirtschaft und Digitalisierung, Juni 2018.
- [IR20] Industrial Radio Lab Germany: Merkblatt 5G Campus-Netze, September 2020.
- [VD20] VDMA e.V.: 5G im Maschinen- und Anlagenbau – Leitfaden für die Integration von 5G in Produkt und Produktion, April 2020.
- [Wi18] Wientjes, E.: 5G Fieldlab makes precision farming more practical. Future Farming, 9.10.2018, <https://www.futurefarming.com/Tools-data/Articles/2018/10/Precision-farming-ever-more-practical-for-farmers-343949E/>, Stand 08.10.2019.