Gefördert durch:

Bundesministerium für Digitales und Staatsmodernisierung

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projekt “NoLa”

Nomadische 5G-Netze für kleinteilige ländliche Räume

nola-5g.de

Schlussbericht (Teil I: Kurzbericht)

Datum:	30. September 2025
Status:	Version 1.0 – öffentlich
Berichtszeitraum:	01.10.2023 – 30.06.2025
Kontakt:	Prof. Dr. Maria A. Wimmer Universität Koblenz T: 0261 287-2646 E: wimmer@uni-koblenz.de
Förderkennzeichen	190I23015

Kooperationspartner:

Universität Koblenz (UniKo), Koblenz, FKZ: 190I23015A
Verbundkoordinatorin

Hochschule Koblenz (HS Ko), Koblenz, FKZ: 190I23015B

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Mosel) (DLR), Bernkastel-Kues, FKZ: 190I23015C

MRK Media, Dresden, FKZ: 190I23015D

aeroDCS, Koblenz, FKZ: 190I23015F

Plantivo GmbH, Simmertal, FKZ: 190I23015E

FKZ 19OI23015 NoLa (Schlussbericht)

Inhalt

1. Kurzdarstellung 3
1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung 3
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 3
1.4 Wesentliche Ergebnisse im Projekt NoLa 4
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen 5

Disclaimer

Das dem Projekt zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Digitales und Staatsmodernisierung (BMDS) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren. Die in dieser Publikation enthaltenen Informationen stehen im Eigentum der folgenden Projektpartner des vom Bundesministerium für Digitales und Staatsmodernisierung (BMDS) geförderten Projektes „Nomadische 5G-Netze für kleinteilige ländliche Räume“: Universität Koblenz, Hochschule Koblenz, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Mosel), MRK Media, aeroDCS, Plantivo. Für in diesem Dokument enthaltene Information wird keine Garantie oder Gewährleistung dafür übernommen, dass die Informationen für einen bestimmten Zweck geeignet sind. Die genannten Projektpartner übernehmen keinerlei Haftung für Schäden jedweder Art, dies beinhaltet, ist jedoch nicht begrenzt auf direkte, indirekte, konkrete oder Folgeschäden, die aus dem Gebrauch dieser Materialien entstehen können und soweit dies nach anwendbarem Recht möglich ist.

Copyright 2025 Projektverbund NoLa. Alle Rechte vorbehalten.

1. Kurzdarstellung

1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Das Projekt NoLa zielte darauf ab, die Entwicklung und Inbetriebnahme von nomadischen 5G-Campusnetzsystemen für den Einsatz in kleinteiligen ländlichen Räumen zu untersuchen, um Wege der temporären drahtlosen Infrastrukturversorgung aufzuzeigen. Ziel war es auch, dass in Zukunft private Dienstleister wie Lohnunternehmen sowie Landwirte ohne bisherige Expertise im Bereich des Mobilfunks vergleichbare Anlagen nicht-ortsgebundener 5G-Campusnetze einsetzen können.

Die nomadische 5G-Campusnetzanlage von NoLa bildet die Grundlage, um beispielsweise Robotikplattformen zur autonomen Bearbeitung im Weinberg in Echtzeit zu ermöglichen, insbesondere in topologisch anspruchsvollen Gebieten wie im Steillagenweinbau. Die 5G-Campusnetzanlage mit Edge Cloud soll dafür ein schnelles Kommunikationsnetz zur Übertragung großer Datenmengen mit niedrigen Latenzen bereitstellen. In Gebieten mit gänzlich fehlender Netzinfrastruktur kann ein solches System zur Datenübertragung für Smart Farming-Anwendungen oder zur Fernsteuerung und Übertragung von Drohnen-Live-Kamerabildern etwa im Katastrophenschutz benutzt werden. Neben der Erfüllung dieser technischen Grundversorgung sollte das Projekt außerdem Fragen zur Lizenzierung von nomadischen 5G-Campusnetzen und der Funknetzplanung adressieren, um den Einsatz solcher Kommunikationssysteme zu vereinfachen und zu beschleunigen. Darüber hinaus sollte als alternative Energieversorgung eine Wasserstoffbrennstoffzelle eingesetzt werden, um einen umweltschonenden Betrieb der autarken Anlage zu erlauben und nach Möglichkeit auch deren Energieverbrauch durch Optimierungen zu reduzieren. Abschließend sollte eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für zukünftige Betreibermodelle erstellt werden, um den Einsatz vergleichbarer 5G-Systeme über das Projekt hinaus zu ermöglichen und basierend auf einer minimalen Systemkonfiguration zu optimieren.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Zum Zeitpunkt der Antragstellung des Projekts NoLa im Jahr 2023 wurden nomadische 5G-Netze in der Forschung thematisiert, und potentielle Lösungsansätze diskutiert. Bisher fehlte es aber an der technischen Umsetzung nomadischer Funknetze speziell für den Einsatz in landwirtschaftlich anspruchsvollen ländlichen Räumen wie im Steillagenweinbau. Aufgrund der damit verbundenen geringen Datenlage existierte hier substanzieller Forschungsbedarf, um die grundlegenden Eigenschaften des drahtlosen Kanals im Kontext nomadischer Netze zu ermitteln. Darüber hinaus existierte Bedarf, die Abläufe bei der Lizenzierung des Betriebs eines Mobilfunknetzes zu klären und abzustimmen.

Auf den Erfahrungen aus dem Projekt „Smarter Weinberg“ aufbauend, widmete sich NoLa der Konzipierung und Inbetriebnahme eines nomadischen 5G-Campusnetz-Prototypen für den Einsatz in ländlichen Räumen. In einer ersten Phase wurden unter Verwendung eines Mietsystems explorative Messungen an verschiedenen Weinbaustandorten mit charakteristischer Topologie durchgeführt. Anschließend wurde ein eigener Prototyp eines O-RAN-kompatiblen 5G-Systems konzipiert und aufgebaut. Bei Feldtests mit definierten Nutzungsszenarien wurde der Prototyp abschließend evaluiert.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Projektdurchführung bediente sich im Projektzeitraum unterschiedlicher Formen von Arbeitstreffen. Erstens wurde pro Quartal ein (hybrides) Projekttreffen durchgeführt, abwechselnd an den verschiedenen Standorten der Verbundpartner. Zweitens wurden 14-tägig einstündige online Jour-Fixe mit allen Projektpartnern durchgeführt. Beide Formate hatten zum Ziel, den Status der Entwicklungen und des Fortschritts in den einzelnen Arbeitspaketen sowie Herausforderungen im Projekt gemeinsam

zu besprechen und nächste Schritte im Projektfortschritt abzustimmen. Damit wurde ein engmaschiges Projektmonitoring realisiert, um den Projektfortschritt zu überwachen und Abweichungen frühzeitig zu erkennen bzw. bei Bedarf Maßnahmen zur Risikovermeidung einzuleiten. Drittens wurden in den einzelnen Arbeitspakten regelmäßig in zwei- bis dreiwöchigen Abständen (bei Bedarf öfter) fachliche bzw. technische Treffen mit den jeweils beteiligten Projektpartnern durchgeführt, um technische Aspekte der Entwicklung abzustimmen. Viertens hat die Universität Koblenz als Lead-Partner 14-tägig ein internes Projektmeeting entlang aller Arbeitspakete abgehalten, um die Projektarbeiten im Uni-Team abzustimmen. Auch bei den anderen Partnern gab es entsprechende Partner-interne Treffen zur Abstimmung der Arbeiten, die hier jedoch nicht im Detail gelistet werden.

Aufgrund von nicht oder erst verspätet besetzten Stellen, substanziell höherer Komplexität in der Anforderungserhebung und Spezifikation für die zu beschaffende Anlage sowie damit verbundenen Verzögerungen bei der Lieferung von Komponenten und beim Aufbau des nomadischen 5G-Campusnetz-Prototypen wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Projekts um sechs Monate bis einschließlich Juni 2025 beantragt und genehmigt. Die Lieferung des Kernsystems verzögerte sich bis Mitte Oktober 2024, die Inbetriebnahme des Gesamtsystems und die Schulung und Einarbeitung der Mitarbeitenden bis Mitte März 2025. Die Umsetzung der Proof-of-Concept Tests im Reallabor erfolgte bis Juni 2025, auch um realistische Umweltbedingungen bei Weinbau- oder Landwirtschaftsszenarien durch den Stand der Vegetation zur Verfügung zu haben.

1.4 Wesentliche Ergebnisse im Projekt NoLa

Das Projekt NoLa erzielte grundlegende Erkenntnisse in der theoretischen Planung und dem praktischen Betrieb von nomadischen 5G-Campusnetz-Systemen für den Einsatz in kleinteiligen ländlichen Räumen wie dem Steillagenweinbau, im Agrarbereich oder im Katastrophenschutz. Darüber hinaus wurden Aspekte wie die Funknetzplanung, Lizenzierung der 5G-Frequenzen und der autarken Energieversorgung des Systems behandelt, um den Einsatz solcher Systeme in Zukunft auch durch Akteure ohne tiefgreifende Mobilfunkkompetenzen zu ermöglichen. Das NoLa Konsortium hat im Projekt folgende zentralen Bausteine erarbeitet:

- **Baustein 1 – Planung und Lizenzierung von nomadischen Netzen mittels Planungsbaukasten:** Mit Hilfe von Drohnenbefliegungen und Photogrammetrie konnten digitale Zwillinge von Weinbergen erstellt werden, um die Funknetzplanung exemplarisch für die zugrundeliegenden Topologien durchzuführen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse konnte ein Planungsbaukasten erstellt werden, der aufbauend auf allgemein verfügbaren Geländeinformationen und weiteren Spezifikationen des Weinbergs zur Bestimmung von geeigneten Antennenstandorten genutzt werden kann. Der Planungsbaukasten bietet eine allgemeingültige Anleitung zur Versorgung von kleinstrukturierten Räumen (konkret: Weinfelder) mit 5G, um diese zeiteffektiv und effizient bewirtschaften zu können. Ebenso wurden Lizenzierungsmodelle für die zum Einsatz kommenden nomadischen Netze untersucht, und finanziell und praktisch bewertet.
- **Baustein 2 – Anforderungserhebung, Entwicklung und Aufbau des nomadischen 5G-Campusnetz-Prototypen:** Durch explorative Messungen in Weinbergen mit einem Leihsystem konnten Parameter bestimmt werden, die als grundlegende Anforderungen zur Beschaffung eines O-RAN-fähigen 5G-Campusnetz-Prototypen dienten. Die für den Außeneinsatz konzipierte Gitterbox beinhaltet einen auf 7m ausfahrbaren Mast für die Ausrichtung einer Radio-Unit, sowie einen Serverschrank mit 5G-Core-, RAN- und Edge Cloud Servern. Als autarke Stromversorgung können Batterien, Wasserstoff-Brennstoffzellen oder auch Benzingeneratoren für den Betrieb

der Anlage dienen. Leistungsmessungen zeigen, dass der entwickelte Prototyp als Blaupause zur Erfüllung der benötigten Anforderung für den Einsatz in Weinbergen oder ähnlichen Szenarien dienen kann.

- **Baustein 3 – Alternative Energieversorgung:** Der Prototyp einer Wasserstoffversorgung für das nomadische System wurde konzipiert und in ein 19-Zoll-Rack verbaut. Der Betrieb wird durch eingebaute Sensoren überwacht. Die Auswertung der Daten erfolgte unter anderem mit Hilfe eines entwickelten Analysetools.
- **Baustein 4 – Proof-of-Concept-Tests im Reallabor und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:** Die Einsatzfähigkeit des Systems konnte in definierten Proof-of-Concept Szenarien gezeigt werden. Die nomadische Anlage ermöglichte im Feldeinsatz den Austausch von Daten im lokalen 5G-Netz, um Drohnen-Livebilder zu einer Einsatzzentrale zu streamen (PoC „Personensuche“) oder den Internetzugriff auf einer Baustelle (PoC „Baustelle“) oder bei Smart Farming Anwendungen (PoC „Landwirtschaft“) flächendeckend herzustellen. Darüber hinaus zeigen erhobene Messdaten im Weinberg, dass das 5G-Netz des nomadischen Systems über geringe Latenzen und genügend Upload-Geschwindigkeit verfügt, um eine (teil-) autonome Roboterplattform ohne Einschränkungen einsetzen zu können (PoC „Weinberg“). Außerdem wurde eine Drohne eingesetzt, um eine weitere Radio-Unit auch oberhalb schwer zu erreichender Passagen zu positionieren und so den Sendebereich weiter auszubauen (PoC „Tethered Drone“). Darüber hinaus erfolgte eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der nomadischen 5G-Campusnetzanlage.

Während der Durchführung des Projekts NoLa, insbesondere der Proof-of-Concept Tests in AP 6, zeigte sich der Bedarf am Aufbau von fehlender Netzinfrastruktur in diversen Einsatzszenarien durch nomadische Systeme. Um diese Lücke vor allem im Bereich der zivilen Sicherheit zeitnah zu schließen, wurde die Projektskizze „Nomadische, offene Einsatzleitzentrale für die Koordination im Katastrophenfall“ (NOLEK) in einem offenen Call des BMFTR als Unternehmensmodul eingereicht. Hierbei ist eine Teilmenge der Projektpartner aus NoLa und Smarter Weinberg involviert (aeroDCS, Universität Koblenz, Vision&Robotics), um die gewonnene Expertise weiter auszubauen und im Katastrophenfall den Bevölkerungsschutz zu verbessern.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Durch den InnoNT-Workshop „Nomadische Netze“ am 19. Juni 2024 in Berlin, der von VDI/VDE-IT veranstaltet wurde, kam es zum Austausch im Gesprächskreis „Nomadische Netze für Landwirtschaft und Baustellen” unter Beteiligung von Bundesnetzagentur (Stefan Jacob, Christian Heich), UVINET (Martin Speitel, Fraunhofer IIS), 5G-ADirI/EConoM (Andreas Möller, Uniberg GmbH).

EConoM hat mit anderen Projekten an der Erstellung des Positionspapiers „Bedarfe für nomadische Netze“ mitgewirkt. NoLa hat ebenfalls an diesem Positionspapier von ADirI mitgewirkt und Beiträge an 5G ADirI und EConoM (Hr. Möller) gegeben. Allerdings wurden die Autoren von NoLa nicht in dem Positionspapier angegeben.

Zwischen der MRK und der TU-Dresden wurde ein Rahmenvertrag für den Wissenstransfer geschlossen.

Mehrere Projektpartner (MRK, aeroDCS, DLR, UniKo) haben sich im Netzwerk Geokomm eingebracht und am regelmäßigen Austausch in diesem Netzwerk teilgenommen.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Digitales und Staatsmodernisierung

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projekt “NoLa”

Nomadische 5G-Netze für kleinteilige ländliche Räume

nola-5g.de

Schlussbericht (Teil II: Eingehender Bericht)

Datum:	30. September 2025
Status:	Version 1.0 – öffentlich
Berichtszeitraum:	01.10.2023 – 30.06.2025
Kontakt:	Prof. Dr. Maria A. Wimmer Universität Koblenz T: 0261 287-2646 E: wimmer@uni-koblenz.de
Förderkennzeichen	190I23015

Kooperationspartner:

Universität Koblenz (UniKo), Koblenz, FKZ: 190I23015A Verbundkoordinatorin

Hochschule Koblenz (HS Ko), Koblenz, FKZ: 190I23015B

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Mosel) (DLR), Bernkastel-Kues, FKZ: 190I23015C

MRK Media, Dresden, FKZ: 190I23015D

aeroDCS, Koblenz, FKZ: 190I23015F

Plantivo GmbH, Simmertal, FKZ: 190I23015E

FKZ 19OI23015 NoLa (Schlussbericht)

Inhalt

1. Eingehende Darstellung 3
1.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 3
1.1.1 AP 1: Projektmanagement und Kommunikation 3
Projektreffen 4
1.1.2 AP 2: Planung und Lizenzierung nomadischer Netze in Steilhanglagen im Weinbau 5
1.1.3 AP 3: Anforderungen und Spezifikation für nachhaltige 5G-Infrastruktur im Weinanbau in Steilhanglagen 8
1.1.4 AP 4: Prototyp-Entwicklung nomadische 5G Plattform 10
1.1.5 AP 5: Alternative Energieversorgung 11
1.1.6 AP 6: Proof of Concept im Reallabor 14
1.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 23
1.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit 23
1.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 24
1.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 25
1.6 Partizipation von Studenten über Abschluss- und Promotionsarbeiten 25
1.7 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses 26

Disclaimer

Das dem Projekt zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Digitales und Staatsmodernisierung (BMDS) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren. Die in dieser Publikation enthaltenen Informationen stehen im Eigentum der folgenden Projektpartner des vom Bundesministerium für Digitales und Staatsmodernisierung geförderten Projektes „Nomadische 5G-Netze für kleinteilige ländliche Räume“: Universität Koblenz, Hochschule Koblenz, aeroDCS, Plantivo, MRK Media, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (Mosel).
Für in diesem Dokument enthaltene Information wird keine Garantie oder Gewährleistung dafür übernommen, dass die Informationen für einen bestimmten Zweck geeignet sind. Die genannten Projektpartner übernehmen keinerlei Haftung für Schäden jedweder Art, dies beinhaltet, ist jedoch nicht begrenzt auf direkte, indirekte, konkrete oder Folgeschäden, die aus dem Gebrauch dieser Materialien entstehen können und soweit dies nach anwendbarem Recht möglich ist.

Copyright 2025 Projektverbund NoLa. Alle Rechte vorbehalten.

1. Eingehende Darstellung

1.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

1.1.1 AP 1: Projektmanagement und Kommunikation

Zielsetzung

Die Ziele von AP (Arbeitspaket) 1 umfassten einerseits die klassischen Aufgaben des Projektmanagements, d.h. die Planung, Steuerung und Überwachung des Forschungsvorhabens, zur effizienten und effektiven Erreichung der definierten Projektziele im geplanten Zeitrahmen. Andererseits umfassten sie die Unterstützung und Förderung der Zusammenarbeit aller Verbundpartner, die vertraglichen Regelungen der Nachnutzung von Projektergebnissen sowie die Kommunikation der Projektfortschritte und Ergebnisse in die (fachliche) Öffentlichkeit.

Meilenstein „M1.1: Projektergebnisse liegen vor und sind in zumindest zwei wissenschaftlichen (Status angenommen) und drei praxisrelevanten Netzwerken kommuniziert“ wurde abgeschlossen. NoLa wurde unter anderem auf Vitis live, den Agrarwintertagen sowie im Rahmen einer gemeinsamen öffentlichen Abschlussveranstaltung mit Smarter Weinberg vorgestellt.

Erzielte Ergebnisse und geleistete Arbeit

Aufgaben im Projektmanagement

- Projektinitiierung und Unterstützung der Zusammenarbeit mittels Cloud-Bereich
  o Organisation und Durchführung des Kick-offs (1. Projekttreffen) am 14.12.2023 an der Universität Koblenz
  o Bereitstellung einer Cloud-Umgebung für die Zusammenarbeit
- Projektmanagement und regelmäßige Abstimmung in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern, sowie Kommunikation mit dem Projektträger
  o Organisation, Durchführung und Protokollierung von Projektmeetings – siehe nachfolgend unter Projekttreffen
  o Organisation, Durchführung und Protokollierung von regelmäßigen einstündigen Jour fixes (14-tägig, donnerstags 15-16 Uhr) im Gesamtteam, durchgeführt online über BigBlueButton
  o Regelmäßige Aktualisierung des Projektplans
  o Organisation der Abstimmung und Zusammenarbeit für die Beantragung einer 6-monatigen Projektverlängerung, Ausarbeitung des Antrags auf Verlängerung sowie Aktualisierungen der Gesamtvorhabensbeschreibung, des Finanzplans und des Projektplans
  o Organisation und Erarbeitung des Sachberichts für den Zwischenbericht in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern.
  o Organisation und Erarbeitung des Sachberichts für den Abschlussbericht in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern.
  o Kommunikation mit dem Projektträger
- Wissenschaftliche Veröffentlichungen: ein Poster und zwei Publikationen wurden veröffentlicht, eine weitere Publikation ist in der Einreichung (siehe Details in Abschnitt 1.7).
- Kommunikation in die Öffentlichkeit und in praxisorientierte (fachliche) Netzwerke
  o Webseite des Projekts ist seit Januar 2024 eingerichtet und wird regelmäßig aktualisiert: nola-5g.de

- Februar 2024: Projektflyer und Roll-up für Auftaktveranstaltung und weitere Kommunikationen sind verfügbar
- Weitere Kommunikationsmaßnahmen siehe nachfolgend

Projektreffen

Im Zeitraum Oktober 2023 bis Juni 2025 fanden insgesamt sieben physische Projekttreffen statt. Im Rahmen dieser übergreifenden Zusammenkünfte aller Verbundpartner wurden bisherige Projektfortschritte in den Arbeitspaketen dargestellt und die weitere Vorgehensweise beraten. Die Projekttreffen fanden wie folgt physisch statt (mit Optionen der digitalen Beteiligung Einzelner Mitglieder über BBB):

- Kick-Off (1. Projekt-) Treffen an der Universität Koblenz am 14.12.2023
- 2. Projekttreffen an der Hochschule Koblenz am 21.02.2024
- 3. Projekttreffen im TZK in Koblenz (ausgerichtet von der Universität Koblenz) am 16.05.2024
- 4. Projekttreffen im Dreikönigenhaus in Koblenz (ausgerichtet von aeroDCS) am 29.08.2024
- 5. Projekttreffen beim DLR in Bernkastel-Kues am 18.10.2024
- 6. Projekttreffen an der Universität Koblenz am 11.03.2025
- 7. Projekttreffen an der Hochschule Koblenz am 12.06.2025

Präsentation und Maßnahmen zur Kommunikation in relevante Netzwerke

Im Bereich Kommunikation wurde das Projekt bei den folgenden Veranstaltungen vorgestellt:

- 24.-26.01.2024: Teilnahme an den Agrarwintertagen auf dem Messegelände in Mainz. Ausstellung mit dem Schwesterprojekt Smarter Weinberg
- 21.02.2024: Öffentliche Auftaktveranstaltung von NoLa an der Hochschule Koblenz
- 06.06.2024: Teilnahme an der DigiMesse 2024 an der Hochschule Koblenz
- 19.06.2024: Teilnahme am InnoNT-Workshop „Nomadische Netze“ in Berlin
- 03.07.2024: Vorstellung nomadisches 5G Campusnetz NoLa und Smarter Weinberg bei „5G und mehr – Versorgungs- und innovative Nutzungsperspektiven für den Mobilfunk“ in Mainz
- 03.-04.07.2024: Messestand auf der Vitislive in Piesport gemeinsam mit dem Schwesterprojekt Smarter Weinberg
- 10.09.2024: Vorstellung auf der ZaC-Konferenz im Calmont-Forum in Bremm gemeinsam mit dem Schwesterprojekt Smarter Weinberg
- 19.11.2024: Abschlussveranstaltung Nola und Smarter Weinberg im Kapuzinerkloster in Cochem
- 29.-31.01.2025: Teilnahme an Agrarwintertagen auf dem Messegelände in Mainz
- 13.05.2025 Teilnahme am InnoNT-Workshop „Ergebnistransfer – Innovative Netztechnologien in die Praxis bringen“ in Berlin
- 27.-30.05.2025 Konferenzteilnahme mit wissenschaftlicher Präsentation von Messergebnissen auf „26th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks” (WoWMoM), Fort Worth, USA
- 05.06.25: Teilnahme an der DigiMesse 2025 an der HS Koblenz
- 25.06.25: Teilnahme an der Nacht der Forschung der Universität Koblenz

Pressemitteilungen und Kurzdokumentationen

Die folgenden öffentlichen Beiträge und Artikel thematisieren das Projekt:

- Das NoLa-Projekt
- Internes Kick-Off-Meeting
- Universität und Hochschule Koblenz starten Forschungsprojekt für 5G-Versorgung in ländlichen Räumen
- AgrarWinterTage 2024
- Öffentliche Auftaktveranstaltung NoLa
- Forschungsprojekt für die 5G-Versorgung in ländlichen Gebieten startet
- Projekt erforscht mobile 5G-Netze: So soll Robotik in den Weinberg kommen
- NoLa - Nomadische 5G Netze für kleinteilige ländliche Räume
- DigiMesse 2024
- 5G-Messungen in Weinbergssteillagen
- WoWMoM-Paper Veröffentlichung
- MDPI-Journal-Paper Veröffentlichung

1.1.2 AP 2: Planung und Lizenzierung nomadischer Netze in Steilhanglagen im Weinbau

Zielsetzung

Im AP 2 wurden verschiedene Weinbergslagen analysiert und kartiert, Szenarien für das nomadische Netz und des Lizenzierungsverfahrens erarbeitet. Weiterhin beschäftigte sich das AP 2 mit der Lizenzbeantragung für die Proof-of-Concepts im Reallabor.

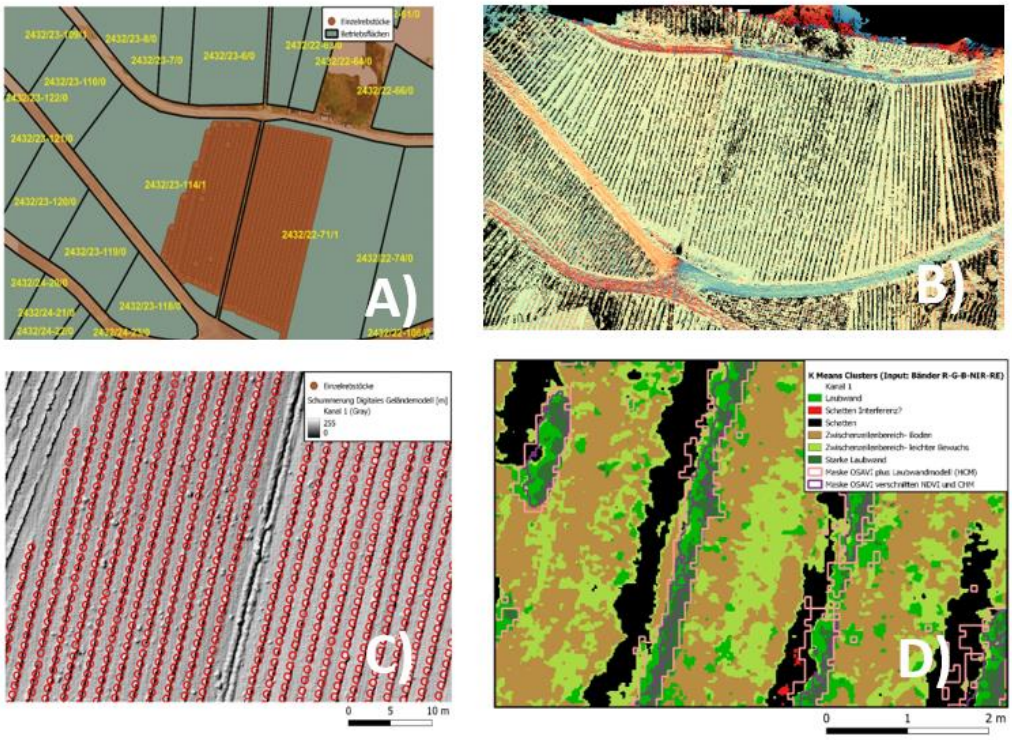
Die Meilensteine M2.1 „Weinlage-Szenarien inkl. Aussagen zu Drohnen-basierter Szenarien liegen vor und prozentualer Anteil an Gesamtweinlagen ist abschätzbar, so dass AP 3 entscheiden kann, ob und wie eine Versorgung aus der Luft erfolgen kann“ und M2.2 „Anzahl notwendiger Lizenzen (1-n) für den Proof-of-Concept im Reallabor liegen vor“ wurden abgeschlossen.

Erzielte Ergebnisse und geleistete Arbeit

Ein großer Meilenstein von AP 2 war die Erstellung eines Planungsbaukastens. Dazu waren folgende Schritte nötig: Befliegungen, Messungen, Fotogrammetrie, Modellierung und Funkplanung. Nach Absprache mit Projektpartnern wurden Weinfelder beflogen, die für den Planungsbaukasten interessant und relevant sind. Vorab wurde ein strukturiertes Screening verschiedenster Weinbergstypen in den Anbauregionen Mosel, Saar, Ahrtal, Rheingau (Hessen), Nahe und Rheinhessen durchgeführt (Ortsbegehungen, Auswertung von Geodaten) und die Genehmigungen der Eigentümer für Begehungen, spätere Ausleuchtung und Feldtests eingeholt. Eine Shortlist markanter Flächen für Feldtests wurde erstellt und diese Flächen per Drohne kartiert. Ebenfalls wurden relevante Geodaten aus dem Schwesterprojekt Smarter Weinberg übertragen, um einen späteren Systemvergleich zu ermöglichen und Doppelarbeiten zu vermeiden.

Dabei wurde auf ein breites Spektrum verschiedenster Typologien geachtet (Topografie, Hindernisse, Lage). Zuvor wurde ein Mitarbeiter der MRK Media AG zum Drohnenpiloten ausgebildet. Die Befliegung bestand immer aus einer detaillierten Flugplanung und der Protokollierung sowie dem Management und der Sicherung der großen Datenmengen (Fotos). Während Befliegungen stattfanden, wurden Kalibrierungsmessung (continuous wave, cw) und Kontrollmessungen (5G) mit geringer und starker Belaubung durchgeführt. Vor den Messungen wurden durch die UniKo Testlizenzen bei der Bundesnetzagentur für die ausgewählten Testflächen beantragt und genehmigt. Die erste cw-Messung musste aufgrund der schlechten Wetterbedingungen wiederholt werden. Direkt verknüpft mit den Befliegungen ist die Fotogrammetrie. Aus den Fotos der Befliegungen wurden Punktwolken erzeugt. Eine Ergebnisanalyse mit Hilfe der Punktwolken konnte die Qualität der nächsten Befliegungen verbessern. So wurden einige Weinfelder zweimal beflogen. Aus insgesamt 20 Befliegungen konnten abschließend elf Punktwolken erstellt werden, die für die Funkplanung geeignet waren.

Die Modellerstellung erfolgte an den elf Feldern, zu denen geeignete Punktwolken erstellt werden konnten. Aus den Punktwolken wurden Orthofotos und Geländemodelle extrahiert, die als Basis für die jeweiligen Modelle dienten. Zusätzlich wurden relevante Hindernisse modelliert. Die Dämpfung der „Rebreihen“ konnte aus den 5G-Messungen im August (Vollbelaubung) ermittelt werden.

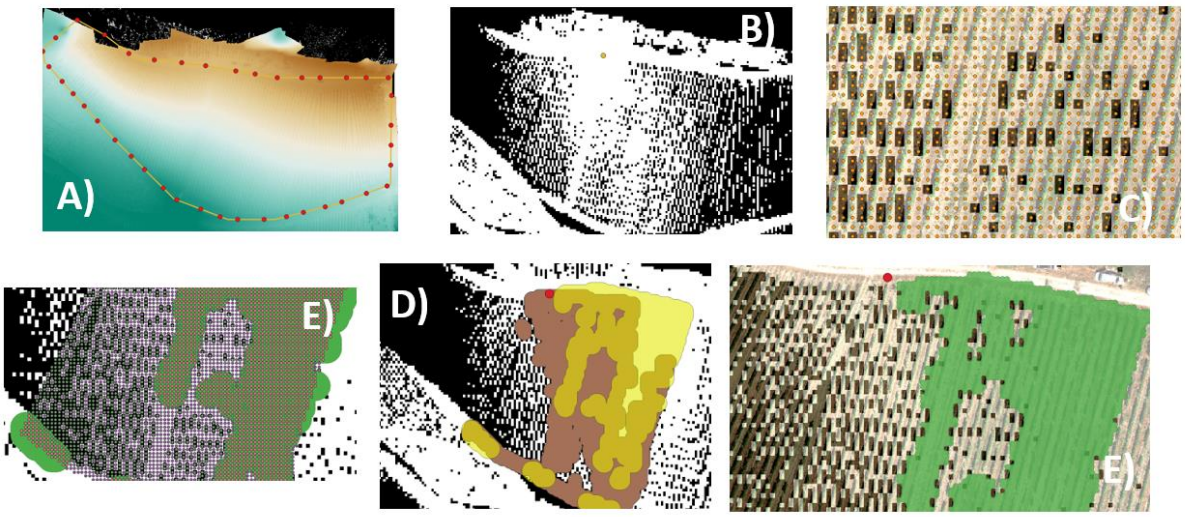


Geodaten aus Smarter Weinberg: A) Darstellung der Einzelrebstockpositionen (braune Punkte, aus “Smarter Weinberg”) auf der Weinfläche des DLR Mosel (Arena) in Bernkastel-Kues, zusammen mit Flurstücken (graue Polygone) mit deren Bezeichnung (gelbe Schrift) B) Orthomosaik der Arena transferiert aus Aufnahmen, welche in Smarter Weinberg erstellt wurden C) Rebstockpositionen (braun) auf Digitalem Geländemodell (Smarter Weinberg) D) Versuch der Extraktion der Rebzeilen basierend auf verschiedenen Vegetationsindexen und Methoden zur Separation/ Segmentierung einzelner Pixelklassen (siehe Legende im Bild)

Die daraus entstandenen Modelle (digitalen Zwillinge) wurden nun individuell funktechnisch ausgeleuchtet (Funkplanung), und zwar so, dass eine ausreichende Gesamtversorgung des Feldes simuliert wurde.

Zudem wurde für die Einteilung der Weinflächen die Expertise des Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Mosel und Plantivo herangezogen, wobei auch relevante Geodaten zur Verfügung gestellt wurden. Diese lagen entweder als frei zugängliche Daten in Geoportalen vor (z.B. Digitale Geländemodelle von Rheinland-Pfalz), waren bereits im Besitz des DLR Mosel (z.B. Schlagdaten von Weinflächen, Rebstockpositionen von DLR Mosel Weinflächen), oder wurden bereits im 5G-Schwesterprojekt „Smarter Weinberg“ erzeugt, wie z.B. Drohnen-basierte hochaufgelöste Digitale Geländemodelle bzw. Oberflächenmodelle (DGM, DOM).

Zudem wurde hinsichtlich der Morphologie, Zugänglichkeit und diversen Faktoren beraten, welche eine potentiell relevante Einflussnahme auf die Funknetzplanung haben bzw. für die Entwicklung des Planungsbaukasten relevant sein könnten. Weiterhin wurden insbesondere 2025 in QGIS Analysen durchgeführt, welche für den Aufstellort von Antennen im Weinberg relevant sind, und eine erste Basis für potentielle Aufstellorte von Antennen liefern können. Diese Analysen stellen jedoch nur eine Grundlage dar.



Sichtbarkeitsanalysen in QGIS: A) Digitales Oberflächenmodell der Arena mit Linie um diese mit Punkten für potentielle Aufstellorte der nomadischen 5G Antenne B) Erhaltenes binäres Sichtbarkeitsraster für einen Aufstellpunkt (gelber Punkt im oberen Bereich der Arena) der Antenne mit weißen Pixelflächen (von Aufstellort sichtbare Flächen) bzw. schwarzen Pixelflächen (von Aufstellort nicht sichtbare Flächen) C) Erzeugung von Punkpixelzentren und Selektion nur sichtbarer Pixelflächen E) Erstellen von Puffferzonen um Pixelzentren (In welchem Abstand um Pixelzentrum, sollen alle weiteren Flächen ebenfalls sichtbar sein vom jeweiligen Antennenstandort?)+ zonale Statistik zur Wahl wie hoch der Grad der Sichtbarkeit um eine bestimmte Pixelfläche sein soll E) Erstellung verschiedener Sichtbarkeitsbereiche F) Finale Sichtbarkeitskarte für einen Aufstellort und einen Sichtbarkeitsbereich

Zunächst wurde eine manuelle binary viewshed Analyse durchgeführt. Hierbei kann auf Grundlage eines Digitalen Oberflächenmodells zusammen mit einem vorher definierten Beobachtungspunkt (Aufstellort, Koordinaten, Höhe des Beobachtungspunktes, Sichtwinkel, Maximale Sichtweite) die Geländesichtbarkeit modelliert werden. Auf Grundlage dessen kann abgeschätzt werden welcher Aufstellort am besten geeignet ist, und welcher Teil der Fläche bzw. wie viel Prozent der Fläche von dem jeweiligen Antennenstandort einsichtbar ist. Darauf aufbauend kann auf Basis von gefilterten Wegedaten und aktualisierten Oberflächendaten eine Automatisierungsroutine entwickelt werden, welche den optimalen Aufstellort der Antenne berechnet und als Punkt in einer Karte ausgeben könnte. Darüber hinaus können weitere Analysen durchgeführt werden, welche automatisch den Weinberg im Hinblick auf seine Morphologie klassifizieren können (Reihenstruktur vs. Terrassen, Mauern), Einfallsrichtung,

Einfallswinkel, Flächengröße. Diese Tools können dann für den Planungsbaukasten der Mobilfunktechnik genutzt werden. Die derart durchgeführten Analysen können als eine erste Grundlage für die Erstellung eines automatischen Geotools gesehen werden, mit dessen Hilfe über komplexe räumliche Abfragen und Analysen der bestmögliche Aufstellort der 5G-Antenne möglichst objektiv bestimmt werden kann. Hierzu erfolgte auch eine Anforderungsanalyse, welche Geodaten z.B. OpenData man dafür bräuchte, wie z.B. shapefiles von Flugplätzen/ Flughäfen um Abstände zu diesen zu berücksichtigen. Zudem erfolgte nach intensiven Tests, welche auch noch in 2025 stattfanden, und vor allem die Flugparameter der Drohne (Höhe, Geschwindigkeit) und Einstellung des LiDAR Scanners betrafen eine Aufnahme in der Weinfläche Arena des DLR Mosel am 04.06.2025. Hierbei konnte eine Punktwolke und daraus folgend ein Digitales Oberflächen- und Geländemodell erstellt werden, welche als Grundlage zum einen für die Funknetzplanung, sowie weiterer Berechnungen dienen können (Ableitung des Canopy Height Models, Separation der Rebzeilen vom Zwischenzeilenbereich, Extraktion von Rebstockpositionen).

Die Erfahrungen aus den vorausgegangenen Schritten waren Grundlage für die Erstellung des Planungsbaukastens. Der Baukasten soll eine allgemeingültige Anleitung geben, wie Weinfelder mit 5G versorgt werden können, um diese zeiteffektiv zu bewirtschaften. Dabei kann er nicht auf individuelle „Bedürfnisse“ eines Weinfeldes eingehen. Bei Feldern, die Hindernisse aufweisen oder in Befliegungsverbots-Zonen muss eine individuelle Funkplanung inklusive eventuell notwendiger Sondergenehmigung erfolgen. Als Ergänzung zum Baukasten-Fragebogen dient eine konkrete Anleitung für Antennen- und Drohnen-Standorte.

Ein weiterer Meilenstein in diesem Arbeitspaket war die Anforderungserhebung und Konzeptionierung eines ganzheitlichen Lizenzierungsverfahrens für nomadische Netze. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem Netzwerk-Partnerprojekt 5G-ADirI Lizenzierungsoptionen für nomadische Systeme mit der Bundesnetzagentur untersucht, finanziell und praktisch bewertet und Empfehlungen für Weinbauanwendung erarbeitet. Die Ergebnisse wurden abschließend in das Positionspapier zur Vorlage bei der Bundesnetzagentur aufgenommen.

1.1.3 AP 3: Anforderungen und Spezifikation für nachhaltige 5G-Infrastruktur im Weinanbau in Steilhanglagen

Zielsetzung

Im AP 3 wurden die Anforderungen für die Anwendungsfälle in verschiedenen 5G-Funknetzinfrastrukturvarianten in kleinteilig strukturierten Räumen erhoben. Weiterhin befasste sich AP 3 mit der Spezifikation und Leistungsbeschreibung der 5G Funknetzinfrastrukturvarianten sowie der Beschaffung des nomadischen 5G-Systems.

Die Meilensteine M3.1 „Ausschreibung des mobilen 5G Standalone Campusnetzes samt Network Slicing Linzenz für das Reallabor veröffentlicht“ und M3.2 „Ausschreibung der Komponenten für den 5G nomadischen Prototyp für das Reallabor veröffentlicht“ wurden abgeschlossen. Network Slicing wurde aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt Smarter Weinberg sowie weiterer Recherchen in NoLa hinsichtlich nicht ausreichend verfügbarer öffentlicher 5G-Versorgung in den Steillagen an der Mosel verworfen. Diese Erkenntnisse wurden insbesondere in Gesprächen mit Experten der Telekom sowie durch die durchgeführten Mobilfunkmessungen gewonnen, welche zeigten, dass in den

Stellagen teilweise auch nicht einmal ausreichend 4G-Versorgung verfügbar ist, wenn die Hanglage der Funkanlage komplett abgeneigt ist.

Erzielte Ergebnisse und geleistete Arbeit

Im Rahmen des AP 3 und mit den weinbaulichen und praktischen Anforderungen im Gelände, und denen an die Netzwerktechnik wurden die wichtigsten Parameter identifiziert, sodass aus diesen die Anforderungen an den NoLa 5G-Campusnetz-Prototyp abgeleitet werden konnten. Der Stand der Technik und Ausblick auf neue Technologien der Smart Farming Industrie wurden im Rahmen von Messen (z.B. Agritechnica, VitisLive) aufgenommen und in Spezifikationen für die Ausschreibungen übersetzt. Als wichtige Parameter haben sich insbesondere die IP-Schutzklassen, Funkreichweite, niedrige Latenz <30 ms roundtrip, Datenuploadrate von mindestens 150 MB, Rüstzeitenautarke Energieversorgung als Ergänzung der Brennstoffzelle aus AP 5 und ein kompakter Formfaktor herausgestellt. Als zentral wurden zwei Szenarien in die Ausschreibung der 5G-Anlage aufgenommen: 1. „Ausleuchtung in der Breite“ und 2. „Fernausleuchtung“. Im ersten Szenario sollten hohe Uploadraten und niedrige Latenzen auf Entfernungen von 200-600m erreicht werden. Der avisierte Anwendungsfall war hier ein Weinberg. Im zweiten Szenario wurden die Anforderungen an Uploadrate und Latenz herabgesetzt, um größere Reichweiten von 500-1500m erzielen zu können, die etwa bei der Personensuche (Videoübertragung) oder bei Übertragungen über einen Fluss hinweg benötigt werden.

Use-Cases in den Bereichen Weinbau, Ackerbau, Feuerwehr/ Katastrophenschutz und Baumaschinen wurden mit den entsprechenden Akteuren (z.B. Feuerwehr Simmertal und Bad Kreuznach, Rheingauer Winzerbedarf, Landwirte) durch Plantivo und aeroDCS ausgearbeitet. Der Anwendungsfall Steillage wurde von UniKo aus den Erfahrungen aus Smarter Weinberg beigesteuert. Sie dienten als Grundlage für spätere Proof-of-Concept Arbeiten und die Ausschreibungsdokumente.

Relevante Fragen waren etwa:

- Wo kann das nomadische System aufgestellt werden?
- Gibt es einen Laubwandeinfluss?
- Wie groß und morphologisch strukturiert sind die Flächen?
- Welche Flächen sind geeignet und welche nicht?

Auf diesen Grundlagen erfolgte zunächst die Spezifikation eines Mietsystems, mit dessen Hilfe explorative Messungen in den Weinbergen durchgeführt wurden. Ergebnisse aus diesen Messungen wurden in Form eines Papers auf der Konferenz WoWMoM 2025 veröffentlicht (siehe Abschnitt 1.7). Weiterhin erfolgten mit an der Hochschule Koblenz vorhandener indoor-5G Hardware erste Untersuchungen zum Einfluss von Drahtanlagen für den Rebwuchs auf die Funkübertragung. Ergebnisse wurden bei der EuCNC 2024 in Form eines Posters präsentiert.

Auf Basis der Anforderungen und der explorativen Messungen mit der gemieteten Anlage wurde das Leistungsverzeichnis für die auszuschreibende nomadische 5G-Campusnetzinfrastruktur erarbeitet. Besonderer Fokus lag auf O-RAN-Kompatibilität, hohen Upload-Datenraten, Einsatz im schwierigen Gelände (z.B. in Weinbergen), niedriger Latenz und hoher Reichweite. Die Ausschreibung wurde im Juli 2024 veröffentlicht. Aus den drei eingegangenen Angeboten wurde die Lösung des Anbieters CampusGenius im August ausgewählt, sodass das AP erfolgreich abgeschlossen wurde.

1.1.4 AP 4: Prototyp-Entwicklung nomadische 5G Plattform

Zielsetzung

AP 4 hatte das Ziel, die prototypische nomadische 5G Campusnetzplattform im Labor aufzubauen und zu testen, Messungen durchzuführen und diese zu validieren.

Der Meilenstein M4.1 „Der Prototyp der nomadischen 5G Plattform mit Edge Cloud ist erfolgreich getestet und für den PoC verfügbar“ wurde abgeschlossen.

Erzielte Ergebnisse und geleistete Arbeit

Ausgehend von den Erkenntnissen und der Beschaffung in AP 3 erfolgte im Herbst 2024 die Lieferung der Komponenten der 3GPP/O-RAN-fähigen 5G-Anlage (u.a. 5G-Core, Radio-Access-Network (RAN) sowie Edge Cloud) sowie die Millimeterwellen-Komponenten. Ab Oktober 2024 konnten schrittweise die in AP 4 geplanten Arbeiten starten. Um bei der Konstruktion auf möglichst viele Normteile zurückgreifen zu können, wurde als Ausgangsbefestigung eine Standard-DB-Gitterbox ausgewählt. Diese kann mittels Dreipunkthydraulik oder Frontlader vom Traktor mitgeführt werden. Dies erfüllt zwar nicht die Anforderungen aus den in AP 3 erfolgten Validierungen bezüglich Formfaktor, ermöglichte jedoch im Projekt eine geringere Inbetriebnahmezeit vor Ort. Zur Montage der 5G-Antenne wurde ein 7m Mast beschafft, da dieser im eingefahrenen und montierten Zustand mittels Kastenwagen oder Anhänger (noch) transportiert werden kann, gleichzeitig jedoch möglichst hoch ist, um über die teils mehrere Meter hohen Mauern im Weinberg hinauszuragen und das Weinfeld auszuleuchten. Als Aufnahme der Antennen wurde eine DIN-Aufnahme verwendet, um eine schnelle und einfache Montage- bzw. Demontage zu ermöglichen. Dies wurde bereits im Dezember 2023 in einer explorativen Arbeit untersucht und ein erster Prototyp erstellt. Die finale Halterung wurde im Oktober 2024 selbst angefertigt, da der Lieferant die geforderte Halterung nicht lieferte. Die Gitterbox wurde innen liegend um Aluminiumprofile erweitert, die der Krafteinleitung vom Mast in die Gitterbox dienen. Es wurde ein entsprechender Serverschrank für die Server des 5G Campusnetzes sowie der Edge Cloud beschafft und ebenfalls mit der Gitterbox verschraubt.

Links: Die verwendete Gitterbox auf einem Rollwagen mit Serverschrank, dem Mast, Antenne und Radio-Unit. Mitte: Agrar-Terminal mit Real-Time-Kinematics GPS-Modul für den Einsatz von Precision Farming. Rechts: Testaufbau einer Drohne mit Antenne für den Proof-of-Concept “Tethered Drone”.

Die Stromversorgung der 5G Campusnetzanlage erfolgt über Batterien und die in AP 5 beschriebene Wasserstoff-Stromversorgung. Die Beschaffung der geplanten Stromversorgung mittels Batterie über

8-10 Stunden konnte mangels Angeboten nicht realisiert werden. Alternativ wurden kleinere Batteriespeicher mit einer Kapazität für ca. 2 Stunden beschafft, die durch ein PV-Modul während der Testläufe nachgeladen werden können. Die Stromversorgung kann zudem mittels Hauptschalter getrennt und durch Batterie oder externen Stromquellen betrieben werden.

Die Integration der genannten 5G-Komponenten erfolgte im Oktober/November 2024, wobei Anpassungen notwendig waren, da die Baugröße des Schaltschranks vom Lieferanten nicht berücksichtigt wurde.

Im Oktober 2024 erfolgten Vor-Ort-Schulungen an der Hochschule Koblenz, um das System bedienen zu können.

Weitere Abstimmungen mit dem Auftragnehmer folgten, um den 5G Campusnetz-Prototyp in Betrieb zu nehmen. Insgesamt fanden drei Abnahmetermine statt (15.01., 14.02. und 14.03.2025). Am letzten Termin konnten die Anforderungen für das Sub-6GHz-System weitestgehend bestätigt werden.

Am 20.05.2025 wurden die Anforderungen aus Szenario 2 erstmalig getestet.

Die Funktionsfähigkeit des Millimeterwellen-System wurde am 27.05.2025 final auch für Distanzen um 700m im Freien mit befriedigenden Up- und Downloadraten sowie guten Latenzwerten getestet.

Erster Abnahmetermin am 15. Januar 2025

Des Weiteren wurden im Berichtszeitraum verschiedene Ansätze zur Reichweitenverlängerung aus der Luft im Hinblick auf ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit diskutiert. Im Anschluss erfolgte eine erste Marktanalyse potenzieller Komponenten. Bei ausgewählten Lieferanten wurden Machbarkeit und Verfügbarkeiten angefragt und dann eine eigene Lösung mittels Tethered Drohne umgesetzt. Details hierzu sind in der Beschreibung von AP 6 festgehalten.

1.1.5 AP 5: Alternative Energieversorgung

Zielsetzung

Ziel des Arbeitspaket 5 (AP 5) war die Untersuchung der Möglichkeiten einer alternativen, zuverlässigen sowie klimaneutralen Energieversorgung auf Basis von Wasserstoff für den Einsatz in der nomadischen 5G-Infrastruktur. Basierend auf einer Machbarkeitsanalyse sowie begleitender Labor- und Feldtests sollte ein funktionsfähiger Prototyp abgeleitet und dessen Praxistauglichkeit validiert werden.

Die Arbeiten wurden fristgerecht zum Ende der regulären Projektlaufzeit abgeschlossen. Der Meilenstein M5.1 „Der Prototyp ist vorhanden und im Labor getestet“ wurde termingerecht erreicht und die entwickelte Energieversorgung stand für die Proof of Concept 2025 rechtzeitig bereit.

Erzielte Ergebnisse und geleistete Arbeit

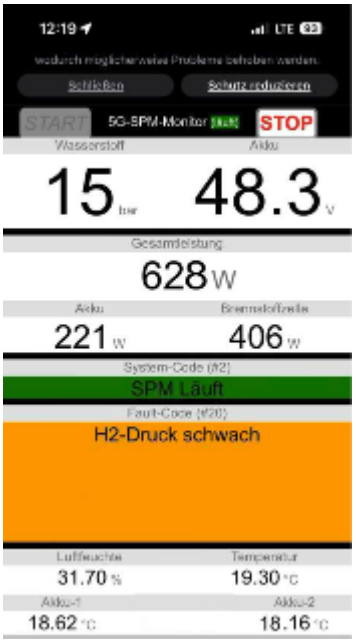
Zu Projektbeginn erfolgte eine umfassende Machbarkeitsanalyse. Hierbei wurden die für den mobilen Außeneinsatz relevanten Parameter wie z.B. Leistungsbedarf, Umweltbedingungen und mechanische Integration sowie sicherheitsrelevante Aspekte systematisch identifiziert, bewertet und in eine Risikobetrachtung überführt. Praxisnaher fachlicher Input des DLR Mosel floss dabei maßgeblich ein.

Anschließend wurde ein Prototyp entwickelt, dessen Dimensionierung, Form und Energieabgabe sowohl an die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie als auch an die im AP 3 erhobenen Use-Case-Anforderungen angepasst wurde. Iterative Labortests sowie reale Feldmessungen im Weinberg auf Flächen des DLR Mosel ermöglichten eine kontinuierliche Optimierung der Energieversorgung.

Besonderer Fokus lag auf der sicheren Handhabung des Energieträgers Wasserstoff. Es wurde eine umfassende Risikoanalyse durchgeführt und in konkrete Sicherheitsunterlagen überführt, darunter Betriebsanweisungen, Checklisten und Sicherheitsdatenblätter. Alle Mitarbeiter, die mit Wasserstoff arbeiten, wurden entsprechend geschult und im sicheren Umgang mit Wasserstoff unterwiesen. Lagerorte wurden fachgerecht gekennzeichnet und gesichert.

Nach den Planungs- und Entwicklungsarbeiten wurden verschiedene Tests im Labor sowie in realen Anwendungen durchgeführt.

H2-Energieversorgung beim Laden eines Elektrofahrzeugs.

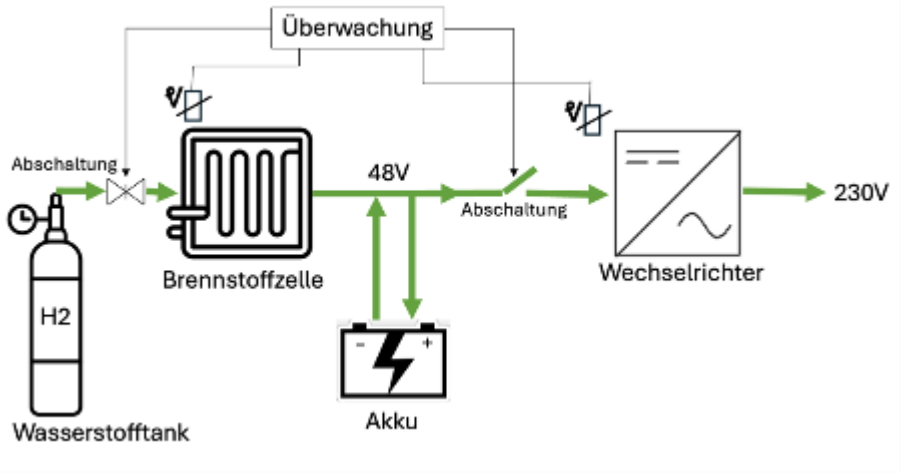


Handy App zur Online Überwachung

Basierend auf den Ergebnissen aus den durchgeführten Labor- und Feldtests wurden gezielte Verbesserungen am Prototyp implementiert. So zeigte sich u. a. die Notwendigkeit eines zusätzlichen Lüfters zur effektiven Kühlung der Brennstoffzelle bei Betrieb an der Leistungsgrenze von 2 kW Dauerleistung.

Zur Überwachung der Systemzustände wurde eine Handy-App entwickelt, die eine Live-Anzeige relevanter Betriebsparameter sowie die Darstellung von Warnhinweisen ermöglicht. Ergänzend wurde ein

Browser-basiertes Dashboard konzipiert (s. AP 6), das eine detaillierte Analyse der aufgezeichneten Betriebsdaten ermöglicht und eine gezielte Dokumentation und Optimierung unterstützt.



Blockschaltbild H2-Energieversorgung

1	Sicherung
2	An/ Ausschalter
3	Display
4	230V Steckdosen
5	Lüfter

Aufbau des 19“ Einschubs

Die im Projekt entwickelte Energieversorgung liefert eine Dauerleistung von 2 kW bei einem Peak von kW Peak für maximal 30 Minuten und stellt diese über zwei 230-V-Steckdosen bereit. Zur Betriebsüberwachung sind mehrere Sensoren für Temperatur, Druck etc. integriert, deren Messwerte kontinuierlich aufgezeichnet und für Auswertungen genutzt werden. Mechanisch ist das System zur effizienten Nutzung mit der nomadischen 5G-Infrastruktur in ein kompaktes 19-Zoll-Rack integriert. Die Auswahl der Steckdosenkomponenten sowie die technische Auslegung erfolgten mit dem Ziel eine hohe mechanische und elektrische Kompatibilität auch über unterschiedliche Einsatzumgebungen hinweg zu gewährleisten

Kernwerte AP 5 im (Kurzüberblick):

- Dauerleistung: 2 kW über 2× 230 V
- Leistungsspitze: 3 kW Peak für 30 Minuten
- Sensorik und Datenerfassung: Temperatur, Druck, u.a.

- Monitoring: PC-Dashboard und Handy-App zur Datenaufzeichnung, Analyse und Live-Überwachung
- Sicherheit: Risikoanalyse, Betriebsanweisungen, Sicherheitsdatenblätter, Schulungen

Die finale Erprobung der wasserstoffbasierten Energieversorgung im Systemverbund wurde am 14.05.2025 im Rahmen der Proof of Concept erfolgreich durchgeführt (s. Abschnitt 1.1.6 zu AP 6).

1.1.6 AP 6: Proof of Concept im Reallabor

Zielsetzung

Im AP 6 wurde der Proof-of-Concept in verschiedenen Anwendungsbereichen untersucht. Ziel war es, in den Anwendungsfeldern Weinbau, Landwirtschaft, BOS/Katastrophenschutz und Straßenbau möglichst realitätsnahe spätere Use-Cases zu beschreiben und praktisch zu testen. Dabei wurden auch Leistungsmessungen des nomadischen 5G Campusnetz-Prototyps in verschiedenem Gelände durchgeführt, um die Hypothesen des Planungsbaukastens zu validieren. Die Kompatibilität mit verfügbarer Smart Farming Technologie (z.B. Traktor-Terminals mit GPS-Steuerung und Echtzeit-Telemetrieübertragung) und Voraussetzungen für zukünftige Technologieentwicklungen galt es zu testen.

Weiterhin wurde in AP 6 eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt. Dabei sollten auch verschiedene Betreibermodelle erarbeitet und bewertet werden.

Der Meilenstein M6.1 „Die erforschten Methoden und prototypisch aufgebauten Komponenten sind im Reallabor auf ihre Wirtschaftlichkeit und Praxistauglichkeit überprüft und Erkenntnisse liegen vor, welche der 5G Varianten in ländlichen Räumen am besten einsetzbar sind“ wurde abgeschlossen.

Erzielte Ergebnisse und geleistete Arbeit

Durch die Projektverlängerung war es möglich, die geplanten Tests und Messungen der nomadischen 5G Campusnetzanlage und die Validierung des Ansatzes im Reallabor-Setting durchzuführen.

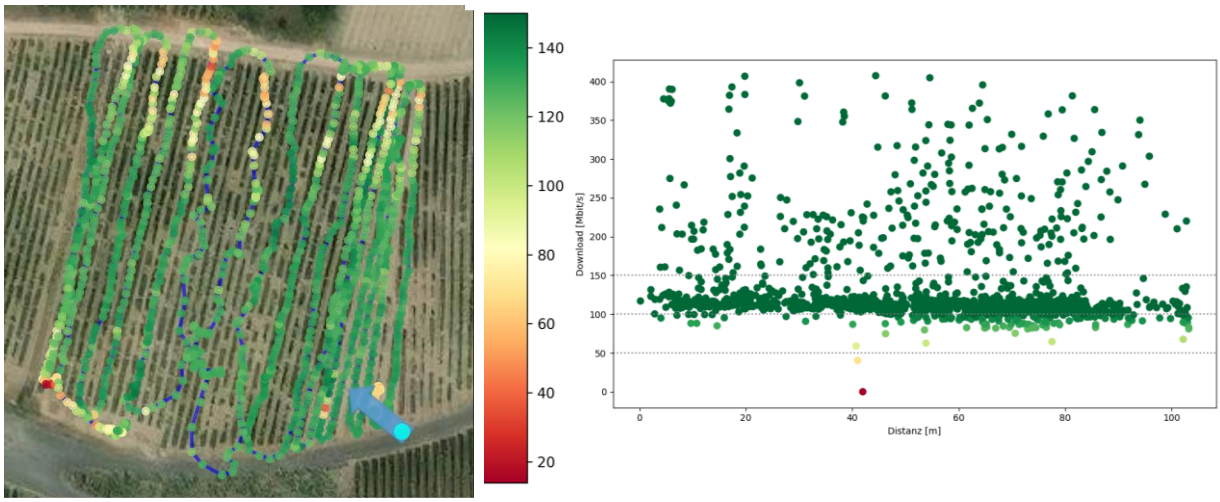
Im Rahmen der Planungsarbeiten konnten die Proof-of-Concept-Szenarien vollständig konzipiert und eine finale Auswahl für die Umsetzung getroffen werden, inklusive Abstimmung mit involvierten Landwirten, Winzern und der Feuerwehr durch Plantivo. Die Genehmigungen der Flächeneigentümer wurden eingeholt und die notwendigen Lizenzen durch die UniKo bei der Bundesnetzagentur beantragt. Den Ablauf der Use-Cases konnten mit der Feuerwehr Simmertal (Personensuche mit Wärmebilddrohne) und dem Landwirtschaftsbetrieb Markus Schlarb (Traktor Vernetzung und Fernsteuerung) praktisch durchgespielt werden. Rüstzeiten konnten gemessen und Abläufe erprobt werden. Die Wirtschaftlichkeitsparameter wie Personalbedarf, Energiebedarf, Lizenzkosten, Anschaffungs- und Wartungskosten wurden erhoben.

Im Labor der Hochschule und Universität Koblenz wurden die für die verschiedenen Anwendungsszenarien vorgesehenen Komponenten zunächst zu einem Gesamtsystem zusammengeschaltet. Anschließend wurde das System durch gezielte Eingriffe und Aktionen Schritt für Schritt in Betrieb genommen und für die PoCs vorbereitet.

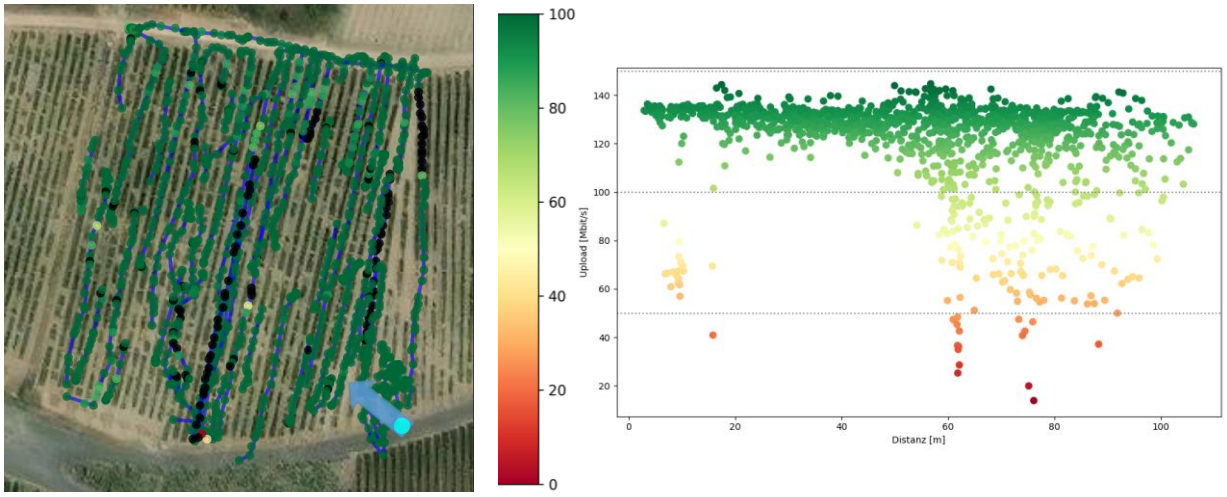
PoC „Weinberg“

Im Rahmen des Proof-of-Concept-Szenarios „Weinberg“ wurde die 5G-Anlage zur Ausleuchtung der Weinbautestfläche „Arena“ des DLR in Bernkastel-Kues eingesetzt. Dieses Szenario diente zur Verifikation, dass das nomadische System im Einsatz mit Sub-6GHz-Endgeräten in der Lage ist, die Anforderungen an benötigte Datenraten für die Echtzeitdatenverarbeitung durch beispielsweise eine mobile Roboterplattform mit lokaler Edge Cloud-Anbindung zur Ansteuerung eines Bearbeitungsgeräts in Echtzeit im Weinberg zu erreichen. Hierfür wurden kontinuierliche Messungen von Upload- und Downloadgeschwindigkeiten und der Round-Trip-Time von Datenpaketen zwischen den Rebzeilen aufgenommen und ausgewertet. Dabei entsprach die Positionierung und Ausrichtung der Antenne in etwa der des stationären Setups, das im Projekt „Smarter Weinberg“ verwendet wurde. Bei der Durchführung der Tests wurde eine Benetel-Radio-Unit und ein Raspberry Pi 4 Endgerät verwendet.

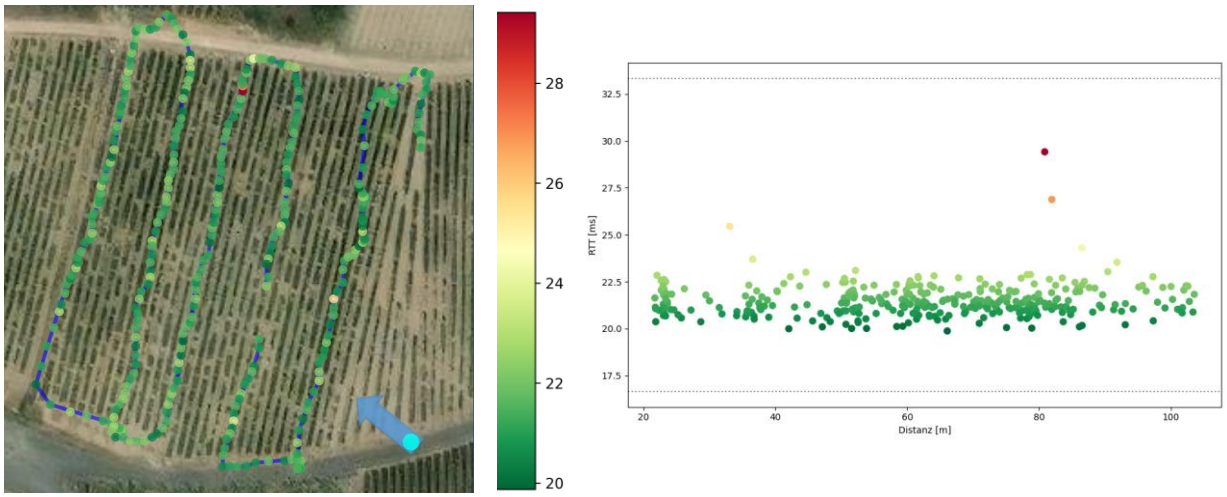
Insgesamt zeigen die Messdaten, dass die Voraussetzungen für den Betrieb einer echtzeitfähigen Ansteuerung eines Bearbeitungsgeräts über das aufgebaute 5G-Campusnetz an jeder Position innerhalb der zu bewirtschaftenden Fläche realisierbar ist. Die sehr wenigen Ausreißer und leichten Leistungsabfälle lassen sich vermutlich durch eine optimierte Anbringung des Endgeräts an der Bearbeitungsplattform weiter verbessern.



Uploadgeschwindigkeiten in Mbit/s an der jeweils gemessenen Position innerhalb der Weinbergtestfläche “Arena”. Der blaue Punkt und Pfeil markieren die Position und Ausrichtung der 5G-Anlage.



Downloadgeschwindigkeiten in Mbit/s an der jeweils gemessenen Position innerhalb der Weinbergtestfläche "Arena". Der blaue Punkt und Pfeil markieren, die Position und Ausrichtung der 5G-Anlage.



Round-Trip Time von Datenpaketen in ms an der jeweils gemessenen Position innerhalb der Weinbergtestfläche "Arena". Der blaue Punkt und Pfeil markieren, die Position und Ausrichtung der 5G-Anlage.

Unter Betrachtung eines RGB-D-Sensors mit Auflösungen von 640x480 Pixeln des Farb- und Tiefenbildes und einer Aufnahmefrequenz von 30Hz ergibt sich eine minimal zu erreichende Uploadrate von 35 bis 75 Mbit/s – abhängig vom Grad der gewählten Kompression der Daten. Der gemessene Upload ist an beinahe allen Positionen über der benötigten Obergrenze bei geringer Datenkompression, wodurch die zeitnahe Übertragung von großen Datenmengen sichergestellt werden kann. Die Downloadrate liegt fast durchgängig bei 100 Mbit/s oder mehr und liegt damit über dem Datendurchsatz, der für den Erhalt der vergleichsweise kleinen Steuerkommandos benötigt wird. Auch die sehr wenigen Ausreißer der gemessenen Round-Trip Time stellen im Realbetrieb eines solchen Setups keine Probleme dar.

Der nomadische 5G-Campusnetz-Prototyp, der im Rahmen des Projekts zusammengestellt und eingesetzt wurde, erfüllt alle Bedingungen für die echtzeitfähige Ansteuerung eines Bearbeitungsgeräts, das seine Sensordaten an eine lokal angebundene Edge Cloud überträgt, um dort Steuerbefehle zu bestimmen. Um das Signal auf der zu bewirtschaftenden Fläche weiter zu verbessern, wäre es von Vorteil die Antenne der 5G-Anlage ferngesteuert ausrichten zu können. Um dies zu erreichen würde der Einsatz

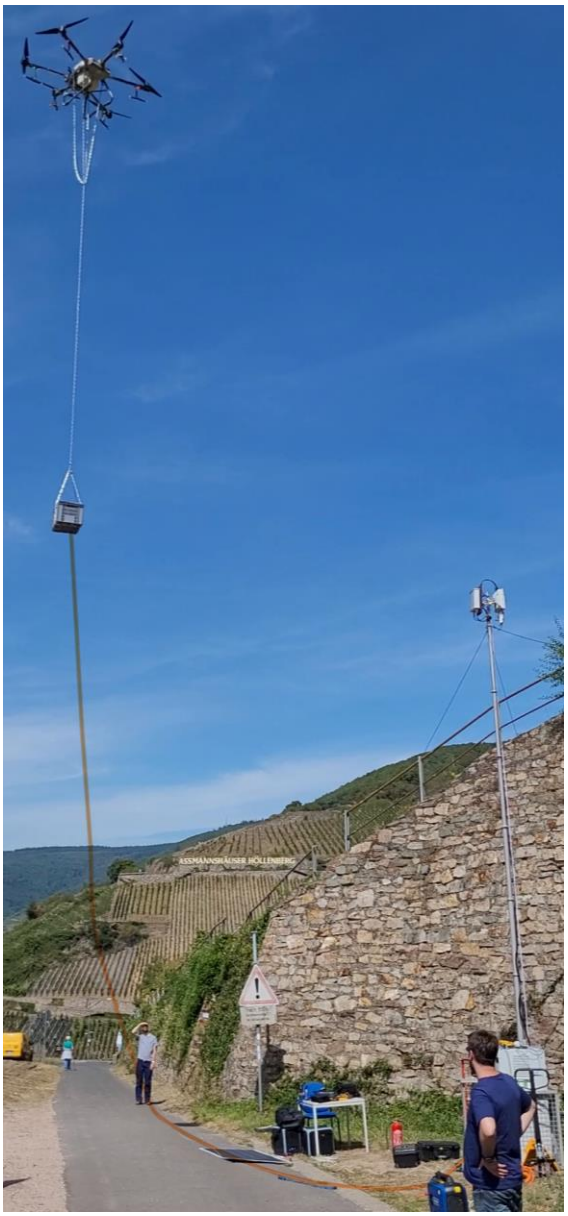
einer Pan-Tilt-Unit am Sendemast benötigt. Darauf aufbauend könnte mit einzelnen stationären Sendern innerhalb der Fläche zusätzlich die beste Ausrichtung für den jeweiligen Einsatzort ermittelt werden.

PoC „Tethered Drone“

Bei der Ausleuchtung durch kabelgebundene Drohnen (tethered drone) konnten schon im Labor wichtige Erkenntnisse zur sicheren technischen Umsetzung gewonnen werden. Kabelführung, Interferenzen der 5G Einheit mit der Drohnensensorik, bauliche Anbringung zur Schwerpunktbalancierung etc. mussten gelöst werden.

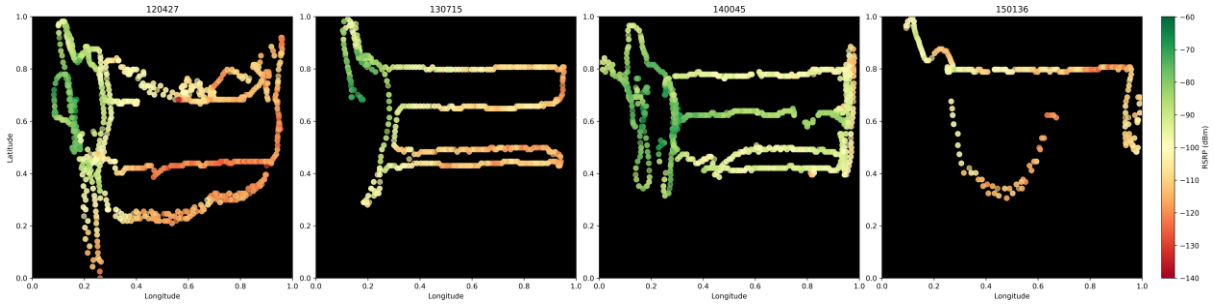
An einer M300 Industriedrohne mit 2,7 kg Traglast wurde eine leichte, gerichtete Antenne über einen speziell im Projekt entwickelten Halter montiert. Grundsätzlich war es möglich, die Ausbalancierung, Kabelführung und Inbetriebnahme zu realisieren. Durch hohe Signalverluste bei längeren Kabeln und Störung der Drohnen-Sensorik durch die zusätzliche Strahlung der Antenne wurde der Ansatz aber letztendlich als nicht praktikabel verworfen. Auch der Einsatz einer kleineren Antenne mit weniger Abstrahlung und kompaktere Bauform erwies sich als nicht geeignet, da die gewünschten Reichweitenverlängerungen damit nicht realisiert werden konnten.

Um die Herausforderungen bei Gewicht der Sendeeinheit und sicheren Strahlungsabstand zu überwinden wurden letztendlich große Lastendrohnen von Plantivo mit einer Traglast von 40 kg und einer Seilwinde bzw. Kettenhalterung eingesetzt. Die Flugzeit ist in dieser Konstellation derzeit noch begrenzt auf ca. 20 Minuten. Mit der Einführung der DJI Matrice 400, die eine Traglast von 6 kg ermöglicht und Flugzeiten von rund 1 Stunde selbst ohne Kabelversorgung realisiert, ist zu erwarten, dass die Reichweitenverlängerung per Drohne in Zukunft auch kostengünstiger und praktikabler wird.



Drohne positioniert sich mit einer angehangenen Box in der sich eine Benetel-Radio-Unit und Powerbank zur Stromversorgung befindet. Aus der Box läuft ein Glasfaserkabel (farblich hervorgehoben) zur Basisstation der NoLa-Anlage (rechts) mit voll ausgefahrenem Mast vor einer Steinmauer im Weinberg in Assmannshausen.

Bei einem Einsatz in Assmannshausen (siehe Foto) wurden Messreihen mit verschiedenen Mastkonfigurationen (eingefahren, halb ausgefahren und vollständig ausgefahren) und mit der Radio-Unit unterhalb einer Drohne befestigt aufgezeichnet. An dem gewählten Standort befindet sich die NoLa-Anlage unterhalb des Weinbergs, der oberhalb einer Steinmauer verläuft. Bei der Messreihe wurde der Einfluss der Höhe der Radio-Unit auf die gemessenen Signalstärken zwischen den Weinreben bestimmt.



RSRP-Messreihen aufgenommen mit dem Nemo-Handy bei (von links nach rechts) Mast eingefahren, Mast halb ausgefahren, Mast vollständig ausgefahren und beim Einsatz der Tethered Drone. Umso höher die Radio-Unit positioniert ist, desto besser wird das empfangene Signal. Bei der Tethered Drone scheint die Ausrichtung der Radio-Unit nicht genau genug zu sein. Ungenaue GPS-Pfade sind anhand der vier parallelen Bahnen durch den Weinberg (in der Horizontalen) erkennbar.

RSRP-Messreihen (in dBm) aufgenommen mit dem VIAVI Spectrum Analyzer bei ausgefahrenem Mast (links) und beim Einsatz der Tethered Drone (rechts). Schwarze Markierungen bedeuten, dass das Signal nicht dekodiert werden konnte, d.h. kein Empfang. Trotz nicht optimaler Ausrichtung der Radio-Unit zeigte sich an einzelnen Stellen trotzdem ein verbessertes Signal (oberer Pfad durch die Weinreben).

Insgesamt zeigte sich eine deutlich spürbare Abschirmung des Signals durch die Steinmauer, die sich aber mit zunehmender Masthöhe reduzieren lässt. Beim Einsatz der Tethered Drone zeigte sich die fehlende Ausrichtung der Radio-Unit, die in der Lastenbox nach unten abstrahlte. Durch eine aufwändigere Befestigung an der Drohne und innerhalb der Box ließe sich das Signal wegen der zusätzlichen Höhe durch den Drohnenflug vermutlich noch weiter verbessern.

PoC „Personensuche“

Im Proof-of-Concept Personensuche/ BOS/ Katastrophenschutz wurde auch die 5G Live-Übertragung von Bildmaterial über eine Raspberry Pi Einheit mit Sendemodul erprobt. Hier waren mehrere Versuche nötig, um ein so abgeschirmtes System zu konstruieren, damit die Sensorik der Drohne und damit die Flugsicherheit nicht gestört wurde. Livebilder der Wärmebildkamera ließen sich letztendlich über das NoLa System erfolgreich zu einem Leitstand übertragen. Mit der Feuerwehr Simmertal wurden umfangreiche Übungen durchgeführt, um das System im Reallabor auszuarbeiten und zu validieren.

Stellproben und Ablauftests mit Feuerwehr Simmertal.

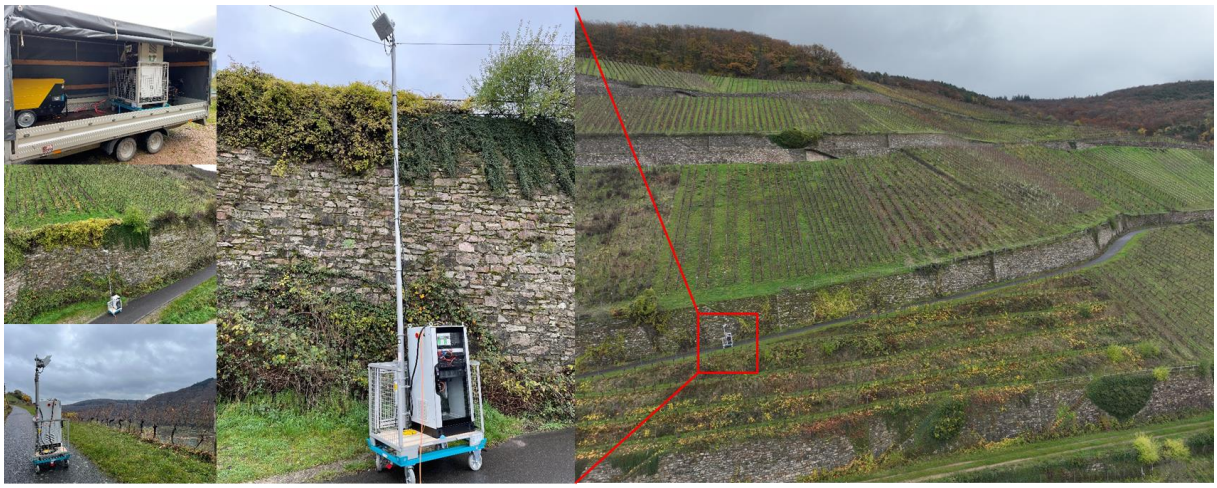
PoC „Landwirtschaft“

Die Verbindung des nomadischen 5G Campusnetz-Prototyps mit verschiedenen Traktor-Terminals und Drohnen-Steuerung konnte erfolgreich aufgebaut werden. Hierzu wurden im Vorfeld verschiedenste Terminals unterschiedlicher Landmaschinenhersteller im Labor und bei der DEULA Rheinland-Pfalz auf ihre Kompatibilität hin getestet, eine Vernetzung der verschiedenen Cloud und Hardwarekomponenten über von Plantivo entwickelte Software und den Agrirouter hergestellt. Bis zur Verfügbarkeit des funktionsfähigen NoLa-Prototyps wurde die tatsächliche 5G-Verbindung über öffentliche Netze und das Campusnetz der Hochschule Koblenz überbrückt. So konnten schon viele Erkenntnisse über die Integration vor- und nachgelagerter Prozesse gewonnen werden.

Um die „nomadischen“ Eigenschaften des NoLa Systems auszuarbeiten und zu testen, wurden in unterschiedlichem Gelände Transport- und Stellproben durchgeführt. Der Transport per Traktor im Frontlader oder im Heck angebaut erwies sich dabei als sichere, zügige und flexible Lösung, während der Transport auf einem Anhänger durch das komplizierte Auf- und Abladen und die langwierige Sicherung des Mastes mit Seilen als nicht praktikabel eingestuft wurde. Ein wesentlicher Teil der Spezifikation aus AP 3 war die Outdoor-Fähigkeit des Systems. Die Anlage erwies sich als robust bei Staub und Erschütterungen im Transport auf Feldwegen. Härtetests bei starkem Regen wurden zum Schutz des restlichen Versuchs-Equipments nicht durchgeführt.

Stellproben mit Traktor im Landwirtschaftsbetrieb Markus Schlarb.

Die Rüstzeiten je Standort konnten im Verlauf des Projekts stark reduziert werden. Während bei den ersten Versuchen noch mehrere Stunden pro Standort nötig waren (insbesondere für die Inbetriebnahme der IT-Systeme), konnten der Aufbau und das Umsetzen zu anderen Standorten gegen Ende auf wenige Minuten verringert werden.



Stellprobe im Weinberg Assmannshausen

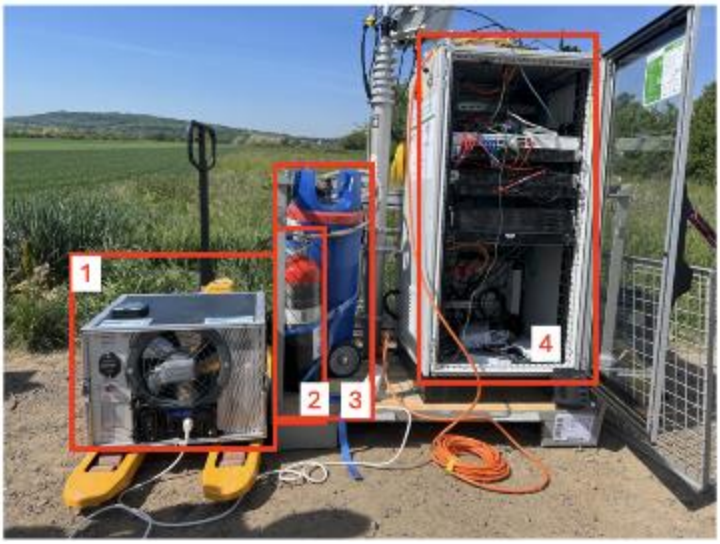
PoC „Baustelle“

Ein weiterer PoC des NoLa Prototyps wurde durch die Vernetzung von Baumaschinen anhand eines Fertigers und einer Walze getestet. Dabei wurden Positions- und Sensordaten der Fahrzeuge über Bluetooth an 5G-fähige Tablets übergeben, die wiederum die Daten zu einer Cloud und anschließend über Starlink zur Cloud des Herstellers übertragen haben. Es konnte gezeigt werden, dass die Kommunikation verlässlich funktioniert und die Daten in der App des Herstellers mit einer Zeitverzögerung von ca. 1s dargestellt werden.

Messungen und Tests in Bernkastel-Kues mit dem NoLa nomadischen 5G Prototyp und mit SLAM- LiDAR Drohne

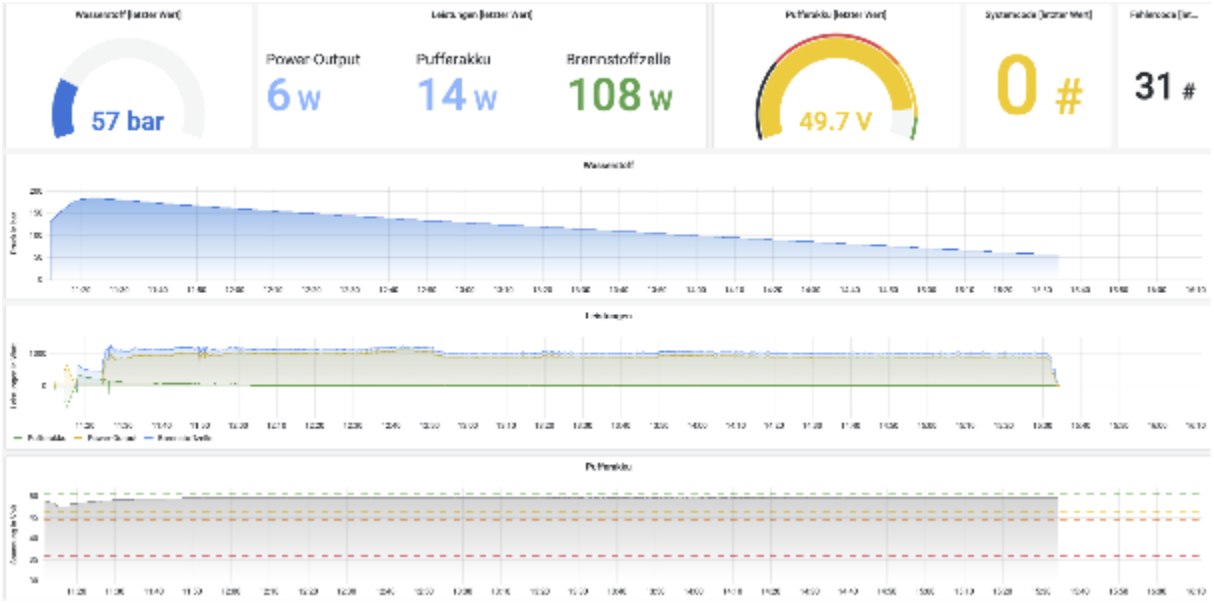
Energieversorgung

Im AP 6 wurde auch die im Projekt entwickelte Energieversorgung (AP 5) am 14.05.2025 final im Systemverbund erprobt (vgl. Bild). Als primäre Stromquelle kam eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle zum Einsatz, ergänzt durch eine Pufferbatterie zur Abdeckung der Lastspitzen von bis zu 3 kW. Ziel der Erprobung war der Nachweis der Einsetzbarkeit dieser Energieversorgungsoption sowie die Analyse ihres Verhaltens innerhalb der nomadischen 5G-Campusnetzplattform.



1	H2-Energieversorgung
2	3l H2-Flasche mit Druckregler und Abschaltvorrichtung
3	20l H2-Flasche
4	Nomadische 5G-Plattform

1Aufbau der H2-Energieversorgung für die 5G-Plattform



Dashboard der H2-Energieversorgung

Das oben dargestellte Dashboard zeigt die Messdaten der Wasserstoff-Energieversorgung nach Abschluss eines rund fünfstündigen Testlaufs. Im oberen Diagramm ist der zeitliche Verlauf des Flaschendrucks dokumentiert.

Zu Beginn des Tests ist ein Anstieg des Drucks erkennbar, der sich aus der Reihenschaltung einer 3-Liter-Betriebsflasche (mit Druckregler, Sicherheitsvorrichtung und Drucksensor am Auslass) mit einer 20-Liter-Speicherflasche ergibt: Beim Zusammenschalten der 20-Liter-Flasche (200 bar) mit der zunächst auf 130 bar befindlichen 3-Liter-Flasche kommt es zu einem Druckausgleich, der den initialen Anstieg verursacht. Während des Testbetriebs lag der Leistungsbedarf konstant bei etwa 1.000 W. Der daraus resultierende, kontinuierliche Energieverbrauch führte zu einem nahezu linearen Druckabfall in der Wasserstoffflasche. Die Pufferbatterie wurde vor dem Start der nomadischen 5G-Plattform um 11:25 Uhr vorgeladen.

Die Messergebnisse bestätigen die grundsätzliche Eignung von Brennstoffzellen als Energiequelle für die nomadische 5G-Campusnetzplattformen. Aus den Verläufen lässt sich extrapolieren, dass die gewählte 20-Liter-Flasche mit 300bar Anfangsdruck eine Betriebsdauer von etwa acht Stunden ermöglicht und damit keinen Nachteil gegenüber Batterielösungen darstellt. Zusätzlich versorgte die Brennstoffzelle im Rahmen des Tests weitere, für den Betrieb notwendige elektrische Verbraucher (u. a. Laptops), was den höheren Energiebedarf im Vergleich zu späteren Messungen erklärt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Mit Unterstützung zweier studentischer Mitglieder wurden Untersuchungen für geeignete Wirtschaftlichkeitsanalysemodells für ein nomadisches 5G-Campusnetz durchgeführt und geeignete Betreibermodelle erarbeitet, über welche die benötigte nomadische 5G-Campusnetzinfrastruktur in kleinteiligen Weinbergstrukturen bereitgestellt werden könnten. Im Rahmen der Erarbeitung eines entsprechenden Wirtschaftsmodells erfolgte eine systematische Literaturrecherche sowie eine qualitative Studie zur Erarbeitung möglicher Betreibermodelle. Die Evaluation des Modells anhand eines Anwendungsfalls offenbart, dass das 5G Campusnetz „NoLa" vor wirtschaftlichen und technischen Herausforderungen steht.

Die durchgeführte Untersuchung kommt zu dem Schluss, dass ein 5G Campusnetz wie in NoLa an sich keinen intrinsischen Wert besitzt und dessen Nutzen sich ausschließlich über einen definierten Anwendungsfall und dessen Endgerät bestimmen lässt. Eine weitere Herausforderung stellt der technologische Stand dar, die hohen Investitions- und Betriebskosten sowie die Komplexität der Bedienbarkeit. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit legen nahe, dass das Mietmodell für den Winzer unter den diskutierten Betreibermodellen die geeignetste Lösung darstellt. Das entwickelte Analysemodell hilft dabei, die Kosten adäquat zu erfassen, jedoch werden Nutzwerte wie Sicherheit nicht ausreichend berücksichtigt und alternative Technologien nicht entsprechend einbezogen.

Die verschiedenen Betreibermodelle wurden mit Praktikern erörtert und eine betriebsübergreifende Abwicklung bei Maschinenringen, Genossenschaften oder Lohnunternehmen favorisiert.

1.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die größten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises umfassen Personalkosten der Verbundpartner. Weitere größere Investitionsposten waren für die Miete und Beschaffung der 5G Campusnetzanlage samt Edge Cloud sowie für Messgeräte.

1.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Das Projekt NoLa war notwendig, da die flächendeckende Versorgung von Nutzflächen und ländlichen Gebieten durch die etablierte stationäre Kommunikationsinfrastruktur für moderne datengetriebene Anwendungen nicht ausreicht. Auch in Zukunft ist aufgrund des zeitlich begrenzten Bedarfs und der Komplexität einer flächendeckenden Ausleuchtung leistungsfähiger Mobilkommunikation dieser Regionen mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit für die Betreiber nicht zu rechnen. Insbesondere für kleinteilige Parzellen, die nicht durchgängig bearbeitet werden müssen, braucht es flexible Lösungen, um bei Bedarf nomadisch ein 5G-Kommunikationsnetz aufzubauen und so den Einsatz von vernetzten Plattformen und Bearbeitungsgeräten auf der gesamten Fläche zu ermöglichen.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen wie ein nomadisches 5G-System aufgebaut sein muss, um die vielfältigen Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur zu gewährleisten. Der entwickelte Prototyp bildet eine erste Basis für ein Outdoor-fähiges System und zeigt dabei potentielle Ansatzpunkte für weitere spezifische Optimierungen in der Zukunft. Rüst- und Ladezeiten könnten beispielsweise durch den festen Einbau in die Ladefläche eines Pickup-Fahrzeugs drastisch reduziert werden.

Im Rahmen des NoLa-Projekts wurden Tests in unterschiedlichsten Landschaftstopologien durchgeführt und ausgewertet, wodurch ein Baukastenkonzept für die allgemeine Funknetzplanung im ländlichen Raum erstellt werden konnte. Zusammen mit den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsanalyse lassen sich hieraus wertvolle Erkenntnisse für den zukünftigen Einsatz spezialisierter 5G-Systeme ableiten.

Nomadische Kommunikationssysteme sind in der Lage digitale Versorgungslücken auch in schwer zugänglichen und abgelegenen Arealen zu schließen und tragen so zur Zukunftsfähigkeit des Weinbaus bei. Das NoLa-Projekt konnte zeigen, dass das angefertigte System auch durch Personen ohne bestehende Expertise im Kommunikationsbereich bereitgestellt werden kann, so dass (teil-)autonome Robotik- und Sensoranwendungen auch im ländlichen Raum verlässlich miteinander kommunizieren und zum Einsatz kommen können.

Die Projektförderung war notwendig, da die Forschung erhebliche Risiken birgt und ohne eine Förderung des Verbunds nicht erfolgen könnte. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sind jedoch von hoher Relevanz, um für ländliche und kleinteilige Strukturen künftig Automation und Innovation in geeigneter Weise zu ermöglichen.

1.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

In dem Projekt NoLa wurden wesentliche Bausteine für den Einsatz nomadischer Systeme im ländlichen Raum erforscht. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse und erhobenen Daten für die mögliche Realisierung zukünftiger Systeme zusammengefasst:

- 5G Campusnetz – Der entwickelte nomadische 5G-Prototyp wird über das Projekt hinaus in Forschung und Lehre an Universität und Hochschule Koblenz zum Einsatz kommen. Davon profitieren insbesondere auch Studierenden, um Kompetenzen in diesem Bereich aufzubauen. Darauf aufbauend sind weitere Projektanträge und Publikationen in Planung und bildet den Kern der weiteren Zusammenarbeit zwischen Universität und Hochschule Koblenz.
- Wasserstoffenergieversorgung – Auf Basis der Projektergebnisse wird es zu weiteren Anpassungen an dem Prototypen zur Wasserstoffenergieversorgung kommen, um diesen auch in vergleichbaren Szenarien weiterhin nutzen zu können. Dabei wird der Prototyp der Brennstoffzelle als Grundlage zur Entwicklung weiterer Produkte und Dienstleistungen zur Durchführung regulärer Aufträge in den erforschten und vergleichbaren Anwendungsgebieten genutzt werden.
- Baukasten für Funknetzplanung – Mit den Ergebnissen des Planungsbaukastens können Winzer, Betreiber und Lohnarbeiter vereinfacht sicherstellen, dass sie ihre Felder mit einem nomadischen 5G-Netz versorgen können.
- Erkenntnisse zum Einsatz nomadischer 5G Systeme (sowie 5G Campusnetz) dienen als Showcase für den DigiTruck des Kompetenzzentrums DigitMit²
- Messdaten des Sub-6GHz Netzes durch die Uni Koblenz mit Unterstützung der Hochschule Koblenz werden für weitere Publikationen und für Lehrmaterialien verwendet. Um die Netzabdeckung und den Datendurchsatz des nomadischen Systems in verschiedenen Topologien zu bestimmen, wurden zum einen Messungen der Signalstärke (RSRP, etc.) mit dem Nemo-Handy und dem VIAVI Spectrum Analyzer und zum anderen Leistungsparameter (Upload, Download, Round-Trip Time) mit einem Raspberry Pi 5G-Endgerät bestimmt. Dabei wurden (RTK) GPS-Positionen aufgezeichnet, um die Netzabdeckung im zu bearbeitenden Feld zu ermitteln. Mit Blick auf unterschiedliche Vegetationsstadien wurde insbesondere die Zeitreihe aus der Weinbautestfläche Arena in Bernkastel-Kues als Grundlage für eine wissenschaftliche Veröffentlichung genutzt. Die wesentlichen Termine zur Datenakquise waren wie folgt:
    - Arena, Bernkastel-Kues, 1. April 2025, 9. Mai 2025, 25. Juni 2025
    - Feld in Simmertal, 3. April 2025
    - Steinmauer, Assmannshausen im September 2025
- Messdaten der Tests im Reallabor – Im Rahmen der Reallabor-Tests erfolgten die folgenden Messungen durch MRK in Weinbergen:
    - Continuous Wave:
        - Arena in Bernkastel-Kues im Mai und August 2024
        - Calmont in Bremm im August 2024

- 5G:
  - Arena in Bernkastel-Kues im Mai 2024
  - Calmont in Bremm im Mai 2024

- Befliegungsdaten für Felder – Zur Erstellung von digitalen Zwillingen wurden Drohnenbefliegungen durchgeführt und Weinberge zur Funknetzplanung dreidimensional rekonstruiert. Zu den folgenden Befliegungen kam es durch MRK im Rahmen des Projekts:
  - 19.03.2024, Nik Weis St. Urbans-Hof, 54340 Leiwen
  - 19.03.2024, Nik Weis St. Urbans-Hof, 54340 Leiwen
  - 19.03.2024, Schlossgut Liebieg, 54340 Klüsserath
  - 20.03.2024, Schlossgut Liebieg, 54340 Klüsserath
  - 20.03.2024, Familienweingut Michael Franzen, 54498 Piesport
  - 21.03.2024, Weingut Bollig-Lehnert_Trittenheim
  - 21.03.2024, Weingut Bollig-Lehnert, 54347 Neumagen-Dhron
  - 21.03.2024, Weingut Bollig-Lehnert, 54347 Neumagen-Dhron
  - 21.03.2024, Nik Weis St. Urbans-Hof, 54340 Leiwen, Piesport
  - 22.03.2024, Nik Weis St. Urbans-Hof, 54340 Leiwen, Piesport
  - 20.03.2024, Klüsserath, In der Schiesley
  - 16.04.2024, Arena, Bernkastel-Kues
  - 16.04.2024, Arena, Bernkastel-Kues
  - 13.05.2024, Winningen (Moseltalbrücke BAB 61)
  - 14.05.2024, Burgruine Ehrenfels, Rüdesheim/Rhein
  - 14.05.2024, Ruine Burg Fürstenberg, 55413 Obérdiebach
  - 15.05.2024, Bremmer Calmont
  - 15.05.2024, Bremmer Calmont
  - 20.08.2024, Arena, Bernkastel-Kues
  - 21.08.2024, Weinberg Bollig-Lehnert, 54349 Trittenheim
  - 21.08.2024, Schlossgut Liebieg, 54340 Klüsserath
  - 21.08.2024, Familienweingut Michael Franzen, 54498 Piesport

1.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Den Zuwendungsempfängern ist im Verlauf des Projektvorhabens kein Forschungsfortschritt im Bereich „5G-Netze für kleinteilige ländliche Räume“ bekannt geworden. Dies zeigte auch die Diskussion in den Geokomm und ADirl Netzwerken.

1.6 Partizipation von Studenten über Abschluss- und Promotionsarbeiten

Die Partizipation erfolgte über folgende Projekt-, Abschluss- und Promotionsarbeiten:

Hochschule Koblenz:

- Studienarbeit „Konzipierung eines mobilen 5G-Sendemastes zum Einsatz in einer landwirtschaftlichen Versuchsanstalt“

- Bachelorarbeit „Charakterisierung der DECT NR+ Technologie im Kontext von IoT mit dem nRF9161-DK Development Kit“
- Studienarbeit „Vernetzung von Baumaschinen über ein nomadisches 5G System zur Überwachung und Steuerung“

Universität Koblenz:

- Masterarbeit „Wirtschaftlichkeitsanalyse für ein nomadisches 5G System im Kontext NoLa: Erforschung und Durchführung eines geeigneten Analysesystems“
- Mehrere studentische Mitarbeitende entlang der verschiedenen Arbeiten in den Arbeitspaketen

1.7 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Viele der bereits erfolgten Arbeiten sollen sowohl für das breite Publikum, Fachpublikum als auch wissenschaftliches Publikum in verschiedenen Publikationen aufgearbeitet werden. Folgende Publikationen wurden im Projektzeitraum veröffentlicht bzw. eingereicht:

- Saeed, I., Farnschläder, T., Junkes, K., Kiess, W., & Frey, H. (2024). Effect of Steel Wires on 5G Signal Transmission in Vineyard Settings. In Proceedings of the **2024 European Conference on Networks and Communications & 6G Summit** (EuCNC/6G Summit): Posters. Antwerpen, Belgien.
- I. A. Saeed, A. Abdullah, D. Schneider, M. Reinelt, S. Pannek, T. Farnschläder, H. Frey, W. Kiess, M. A. Wimmer (2025). A Measurement Study on 5G Performance in Steep Vineyards. Veröffentlicht in **2025 26th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)**: Fort Worth, USA.
- H. Khalili, H. Frey, M. A. Wimmer (2025). Balancing Prediction Accuracy and Explanation Power of Path Loss Modeling in a University Campus Environment via Explainable AI. Veröffentlicht in Journal **Future Internet 2025**
- A. I. Jehangiri, D. Schneider, D. Müller, H. Frey, M. A. Wimmer (2025). Evaluation of Machine Learning Models for Predicting 5G RSRP Values in a Smart Vineyard Field Study, Einreichung ausstehend.

Weitere Publikationen sind in Planung.