

ArtIFARM

Artificial Intelligence
in Farming



ArtIFARM Status-Report 2025



wir! Wandel durch
Innovation
in der Region

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

ArtIFARM Status-Report 2025

Herausgegeben von:

Hochschule Stralsund – University of Applied Sciences Stralsund

ArtIFARM Innovationsmanagement - INNOTransfer

Mark Vehse

Sabine Langner

ArtIFARM Klausurtagung 27. – 28. November 2025 Universität Greifswald



ISBN: 978-3-911138-05-5

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Weg und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

© Hochschule Stralsund, Stralsund 2025

Hochschule Stralsund
Zur Schwedenschanze 15
18435 Stralsund

Tel: +49 3831 455

Email: pressestelle@hochschule-stralsund.de
Homepage: www.hochschule-stralsund.de



Inhalt

Grußwort	2
Steckbrief ArtIFARM	3
Übersicht der laufenden Vorhaben	4
ArtISTRAT	6
ArtIGROW	16
AI-Biome	26
ArtI_ADOPT	31
AMBROSIA	35
NAIFM.....	48
SE4UAS-LW	52
ARD_AI.....	55
Status Innovationsmanagement & Gesamtvorhaben	58

Grußwort

Liebe Leserinnen und Leser,

nachdem einige Ereignisse aus 2024 zu Verschiebungen, Anpassungen und Umstrukturierungen in der Arbeit des Verbundes ArtIFARM geführt haben, stand das Jahr 2025 im Zeichen der Ausrichtung auf die Zukunft.

Die erste Jahreshälfte war geprägt von der Aktualisierung des erweiterten Konzeptes zur erneuten Einreichung für die Zwischenevaluierung. Nach der Verteidigung des Konzeptes am 24. Juni 2025 erreichte uns in der Sommerpause die freudige Nachricht, dass das Bündnis mit weiteren ca. 5,6 Mio. Euro gefördert wird. Über halb Europa verstreut wurden kurzfristig das Steuerungsteam und alle Konsortialführer*innen, der im erweiterten Konzept verankerten Vorhaben, aktiviert. So sollte sichergestellt werden, dass alle Anpassungsarbeiten in den förderbaren Vorhaben schnellstmöglich anlaufen und die Vollerträge erarbeitet werden. Somit können die meisten Vorhaben in der ersten Jahreshälfte 2026 starten. Der Dank gilt allen Vorhaben für Ihre pragmatischen Entscheidungen und Umsetzungen von Änderungen. Da die Skizzen doch schon einige Zeit „gereift“ waren, mussten durchaus schmerzhaft Anpassungen erfolgen. Etwas wehmütig schauen wir auch auf die Vorhaben, die leider nicht finanziert werden können.

Schön ist deshalb zu sehen, dass ArtIFARM-Bündnispartner in 2025 in den Themengebieten Bioökonomie und Tierwohl als auch Landwirtschaft und Smart Farming umfangreiche weitere Fördermittel außerhalb der WIR!-Förderung einwerben konnten. Damit wird ein zentrales Ziel des Verbundes unterstützt und umgesetzt, die zu beforschenden Themen weiter in der Region zu verstetigen. Wir wünschen auch weiterhin allen antragstellenden Bündnismitgliedern viel Erfolg!

Auch für unseren Statusreport 2025 gilt: Er soll Ihnen Einblicke in den aktuellen Stand unserer Vorhaben geben. Die Verbundprojekte berichten wieder exklusiv über ihre Aufgaben, Ergebnisse, Herausforderungen und Pläne.

Viel Freude beim Lesen!

Mark Vehse –Sabine Langner

Steckbrief ArtIFARM

Artificial Intelligence in Farming

ArtIFARM ist ein vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR, ehemals BMBF) gefördertes WIR!-Bündnis mit nunmehr 100 interdisziplinären Kernakteurinnen und Kernakteuren, die an der Digitalisierung der Landwirtschaft in der Region zwischen Rügen und der Müritz forschen. Zu den Partnern zählen u.a. Forschungseinrichtungen, Landwirtschaftsbetriebe, Verbände, Vereine, Unternehmen und Start-ups.

Mit den übergeordneten Zielen der Ressourceneffizienz und für Nachhaltigkeit entwickeln die geförderten Vorhaben im Rahmen von ArtIFARM Innovationen in den Bereichen Entscheidungsunterstützung/ Farmmanagement, Präzisionspflanzenbau sowie Daten- und Wissensplattformen.

Das sind vorrangig Produktinnovationen der nächsten Generation in der Landtechnik mit autonomer Robotik, Sensortechnik, Simulation, Künstlicher Intelligenz, digitaler Funktechnik, Cloud- und Edge-Computing, Bodenanalyse und Geoinformatik, aber auch digitalen Systemen in der Pflanzen- und Bodenkunde, der Agrarwirtschaft, der Gensequenzierung, der Finanzwirtschaft u.v.m.

Damit stellt sich ArtIFARM den drängendsten Herausforderungen der heutigen und zukünftigen Landwirtschaft und versucht mit der Lösung dieser Fragestellungen, einen innovationsbasierten Strukturwandel in der Bündnisregion anzustoßen. Die Stärke des Bündnisses liegt in der interdisziplinären Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen, lokalen Unternehmen und regionalen Landwirtschaftsbetrieben.

ArtIFARM startete 2019 zunächst mit ersten Ideen für ein Konzept zur Aktivierung von Unternehmenskompetenzen im Bereich Landtechnik, digitaler Technologien und Maschinenbau. In der geförderten Konzeptphase (2020/2021) wurde ein überzeugender Plan entwickelt, der zu einer Förderung führte. In der ersten Umsetzungsphase (2022-2025) entwickelte sich daraus ein schlagkräftiges Bündnis mit den unterschiedlichsten komplementären Kompetenzen. Auch das erweiterte Konzept überzeugte 2025 das BMFTR und so kann ArtIFARM gut ausgestattet in die zweite Umsetzungsphase (bis 2028) starten und weitere Forschungsvorhaben initiieren.

Informieren Sie sich gern über unsere bisher erreichten Zwischenergebnisse!



Übersicht der laufenden Vorhaben

Wir sind und bleiben aktiv und sehen eine wertbringende Zukunft!

Seit August 2025 befindet sich das ArtIFARM-Bündnis in der zweiten Umsetzungsphase. Dem Bündnis wurden vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) nochmals Fördergelder zugewiesen, sodass wir unsere erfolgreiche Arbeit weiter fortsetzen können. Das heißt im Umkehrschluss auch, dass das Ministerium die bisherigen Forschungsaktivitäten und die ArtIFARM-Strategie als vielversprechend bewertet. Damit beweist das ArtIFARM-Bündnis mit dem Netzwerk und den laufenden bzw. geplanten Forschungsvorhaben, dass der eingeschlagene Weg für die Region nutzbringend und stärkend sein wird. Diese erfolgreiche Arbeit konnte nur im interdisziplinären Schulterschluss von Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Landwirt*innen der Region geleistet werden.

Insbesondere die Tatsache, dass fast alle Vorhaben konkrete Produkt- oder Prozessinnovationen entwickeln, wird sich langfristig für die regionale Wirtschaft auszahlen. Das weitere Bestreben in der zweiten Umsetzungsphase liegt in der erfolgreichen Überführung der entwickelten Lösungsideen in die Praxis. So stärkt ArtIFARM die Transferaktivitäten der Forschungseinrichtungen in das direkte Umfeld. Ab sofort werden wir viel Kraft und Energie in die Verstärkung des Bündnisses setzen. Eine Idee ist, ein Innovationscluster in der Region aufzubauen, um eine Vorreiterrolle in der innovativen Landwirtschaft im Bereich der Agrartechnologie einzunehmen.

Die Weiterentwicklung der bisherigen Forschungsergebnisse bis zu marktreifen Produkten stehen dabei z.B. mit im Fokus. Die übergreifende Frage, wie der Gap zwischen Technologiereifegrad 5 am Ende der Forschungsförderung durch die WIR!-Förderung und einem Pilotstatus oder sogar einer Marktfähigkeit überwunden werden kann, steht dabei im Vordergrund. Nur so können regionale Wertschöpfungsketten aus Forschungsvorhaben initiiert und langfristig etabliert werden.

Fakten (siehe auch Abbildung 1):

- 14 Vorhaben wurden in der ersten Umsetzungsphase initiiert
 - 9 Vorhaben arbeiten aktiv
 - 2 Vorhaben befinden sich in Bewilligung durch das PtJ (Sense4Biogas, ArtINmin)
 - 3 Vorhaben sind abgeschlossen (BData4AF; SE4UAS, Innovationsmanagement)
- 11 weitere Vorhaben wurden 2024 vom Beirat für die zweite Umsetzungsphase (2025–2028) befürwortet und stellen derzeit die Förderanträge beim PtJ

Festzustellen ist, dass in der regionalen Forschungslandschaft weitere Verbünde außerhalb der WIR!-Förderung Erfolg bei der Einwerbung von Forschungsmitteln hatten und so flankierend auf laufende Projekte wirken. So konnten von Partnern aus ArtIFARM innerhalb der Anwendungsorientierten Exzellenzforschung des Landes Mecklenburg-Vorpommern weitere Verbundvorhaben im Bereich Landwirtschaft eingeworben werden, oder sie sind Partner in diesen Verbänden. Das zeigt vielversprechende Synergieeffekte und ermöglicht weitreichende Kooperation mit zusätzlichen Partnern. Die Aktivitäten von ArtIFARM zeigen so erste spürbare Auswirkungen auf das Forschungsökosystem im Innovationsbereich Intelligente Landwirtschaft. Dies unterstützt nicht nur den Aufbau einer nachhaltigeren und umweltverträglicheren Landwirtschaft, sondern trägt zu einer Weiterentwicklung der Forschungslandschaft in Mecklenburg-Vorpommern bei.

Die nachfolgende Grafik (Abbildung 1) zeigt eine Übersicht der Ideen aus dem ArtIFARM-Bündnis und deren Weg durch den mehrstufigen Antragsprozess bzw. den aktuellen Status. Einige dieser Vorhaben werden im Rahmen dieser Veröffentlichung detaillierter vorgestellt.

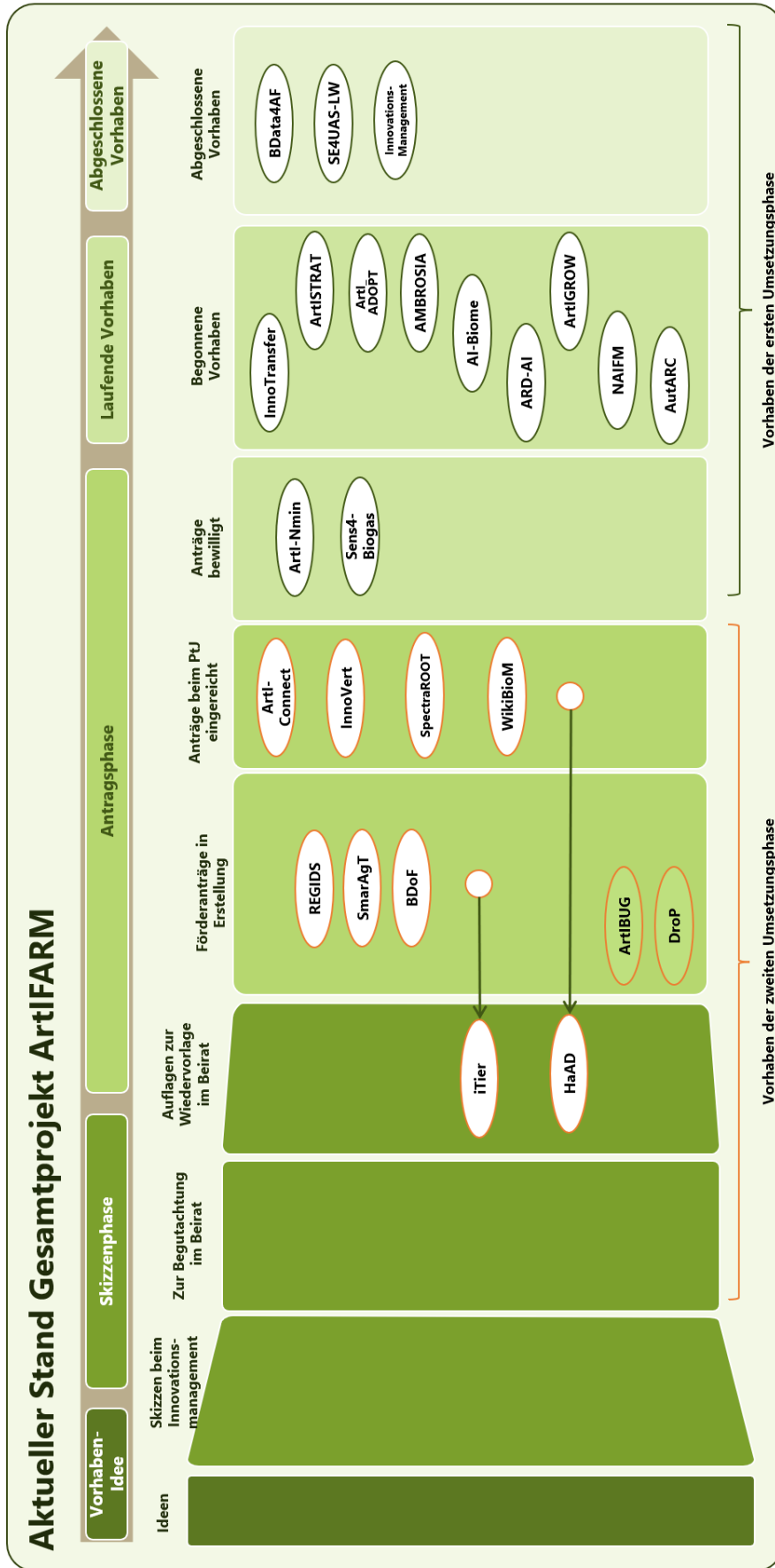


Abb. 1: ArtIFARM Innovationspipeline: Antragsstatus der Ideen bzw. Verbundvorhaben. (Stand: 10/2025; Quelle: Vorhaben ArtISTRAT)

ArtISTRAT

Strategieentwicklung für ArtIFARM

Marie Büchler, Anna Gros, Kerstin Thummes, Holger Türr

Ausgangslage und Ziel des Vorhabens, Vorgehensmodell und Team

Damit innovationsbasierte Strukturwandelprojekte wie ArtIFARM erfolgreich sind, werden diese während der Vorhabenlaufzeiten wissenschaftlich begleitet. Eine derartige Begleitforschung fußt grundsätzlich auf zwei komplementären Ansätzen: Zum einen gibt es eine programmatische Begleitforschung, die im Auftrag von Fördermittelgebern, wie dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), ganze Förderprogramme flankiert. Sie verfolgt das Ziel, übergreifende Wirkungen zu erfassen, den Mitteleinsatz gesamthaft zu reflektieren und Impulse für die (bessere) Ausgestaltung künftiger Förderlinien zu geben (vgl. Loroff 2009: 29; RWTH Aachen University 2025). Zum anderen existiert eine strategische Begleitforschung, die unmittelbar innerhalb eines Innovationsbündnisses ansetzt. Diese ist stärker fallbezogen, begleitet die interne Strategieentwicklung von Netzwerken und zielt darauf ab, durch wissenschaftlich fundierte Konzepte die Handlungsfähigkeit der Bündnisse zu erhöhen und deren Verstetigung zu unterstützen (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung 2021: 8–11).

Das Vorhaben ArtISTRAT ist innerhalb des zweiten Ansatzes zu verorten: ArtIFARM adressiert das Innovationsfeld Intelligente Landwirtschaft in einer Region mit erheblichen strukturellen Herausforderungen und bringt Akteure aus Landwirtschaft, Industrie und Wissenschaft innerhalb seines Innovationsnetzwerks zusammen. ArtISTRAT unterstützt diesen Prozess, indem Entscheidungsstrukturen auf Ebene von Lenkungskreis, Beirat, Innovationsmanagement sowie Interaktion und Kommunikation mit Bündnismitgliedern wissenschaftlich fundiert begleitet und weiterentwickelt werden. Ziel ist es, die Entscheidungsprozesse bündnis- und förderzielorientiert zu verbessern, partizipative Strategieentwicklungen zu ermöglichen und auf Grundlage wirtschaftswissenschaftlicher und kommunikationswissenschaftlicher Analysen eine langfristige Verstetigung des Bündnisses vorzubereiten. Dabei ist das Vorhaben so angelegt, dass nicht nur die Entscheidungs- und Entwicklungsprozesse im eigenen Bündnis während der Förderphase unterstützt werden, sondern auch übertragbare Konzepte und Instrumente für die strategische Weiterentwicklung vergleichbarer Innovationsnetzwerke entstehen.

ArtISTRAT widmet sich vier Forschungsfeldern, die sich methodisch und inhaltlich ergänzen:

1. Controlling von Innovationen und Innovationssystemen: Entwicklung eines Monitoringsystems für innovationsbasierte Strukturwandelprojekte, das aus den Zielen des Bündnisses abgeleitete Indikatoren zur Bündnisentwicklung erfasst und dadurch evidenzbasierte Steuerungsimpulse für das Bündnis ermöglicht.
2. Transfer und Strukturwandel: Identifikation von Innovationspotenzialen und -hemmnissen in der Landwirtschaft der Bündnisregion sowie Analyse der regionalen Entwicklungsbedingungen in Landwirtschaft, Industrie und Wissenschaft (regionale Chancen und Herausforderungen).
3. Netzwerkorganisation und Institutional Complexity: Untersuchung von Entscheidungs- und Kommunikationsprozessen in den Bündnisgremien, um Umgangsformen mit Widersprüchen zwischen den heterogenen Interessen der Bündnismitglieder zu identifizieren.
4. Interne Kommunikation und Organisationskultur: Analyse der Kommunikationspraktiken und Entwicklung von Empfehlungen für eine innovationsfördernde Organisationskultur im Bündnis.

Die Ergebnisse dieser Forschungsfelder werden regelmäßig gegenüber dem ArtIFARM-Management kommuniziert und dienen als Grundlage für Empfehlungen zur zukünftigen Ausrichtung des Bündnisses, zur Gestaltung von Projekt-Calls, zur Zwischenbegutachtung durch den Fördermittelgeber sowie zur Vorbereitung der Verstetigung des Bündnisses. Einen wichtigen Baustein bildet das ArtIFARM-Strategieforum, das als partizipativer Austauschraum etabliert wurde. Hier können strategisch relevante Fragestellungen mit regionalen Stakeholder*innen diskutiert, Zwischenergebnisse reflektiert und Impulse für die Weiterentwicklung des Bündnisses aufgenommen werden.

Das Team

Das Team im Vorhaben ArtISTRAT vereint Kompetenzen aus Betriebswirtschaftslehre und Kommunikationswissenschaft: Von Seiten der Hochschule Stralsund fließt Expertise auf dem Gebiet des Controllings aus der Fakultät für Maschinenbau (Prof. Dr. Holger Türr) ein. An der Universität Greifswald wird das Vorhaben durch Fachwissen aus dem Lehrstuhl für Kommunikationswissenschaft mit dem Schwerpunkt Organisationskommunikation (Prof. Dr. Kerstin Thummes) ergänzt. Auf dieser Grundlage bearbeitet das Team Fragestellungen des Innovationscontrollings, der Transformationsforschung und der Kommunikationsdynamiken, die im Kontext der strategischen Begleitung von ArtIFARM zusammengeführt werden. Die interdisziplinäre Zusammensetzung ermöglicht es, wirtschaftswissenschaftliche und kommunikationswissenschaftliche Perspektiven zu verknüpfen und so einen umfassenden Zugang zu Fragen der Steuerung, Vernetzung und Wirkungsmessung im Bündnis zu schaffen.

Aktueller Arbeitsstand im Vorhaben und bisher erreichte Ergebnisse

ArtISTRAT startete im Oktober 2022 als eines der drei Startervorhaben des Bündnisses und endet im Dezember 2025. Über die gesamte erste Umsetzungsphase hinweg konnte das Bündnis somit wissenschaftlich begleitet werden. Dies ermöglichte es, die Erkenntnisse zur strategischen Weiterentwicklung des Bündnisses auch in die Konzeption der zweiten Umsetzungsphase (08/2025 bis voraussichtlich 12/2028) einzubringen.

Monitoringsystem: Ein anwendungsorientierter Ansatz für innovationsbasierte Strukturwandelvorhaben

Im Mittelpunkt dieses Arbeitspaketes steht die Entwicklung eines mehrdimensionalen Monitoringsystems für innovationsbasierte Strukturwandelprojekte. Dieses System dient dem Bündnismanagement nicht nur als Steuerungs- und Kontrollinstrument, sondern ist zugleich so ausgelegt, dass es auf andere Strukturwandelbündnisse übertragbar ist. Wie in Abbildung 1 ersichtlich folgt das Modell methodisch einer Drei-Ebenen-Logik (vgl. Schentler u. a. 2010: 306): Einzelprojektebene, Multiprojektebene (Portfolio) und Bündnisebene. Diese Ebenen werden mit einem Input-Process-Output-Impact-Ansatz (vgl. Brown und Svenson 1988: 12; Seppo und Lilles 2012: 209) kombiniert.

Die Steuerungsmechanismen im Bündnis verlaufen in einer Wechselwirkung von Top-down- und Bottom-up-Prozessen. Während auf der Bündnisebene strategische Ziele definiert und an die Einzelvorhaben weitergegeben werden, erfolgt umgekehrt der Informationsfluss aus den Projekten nach oben. Die Aggregation dieser Daten ermöglicht Anpassungen auf Portfolio- und Bündnisebene. Dadurch entsteht ein iterativer Kreislauf, in dem Rückmeldungen aus den Projekten zu strategischen Anpassungen und präziseren Zielsystematiken führen, die wiederum in die Projektebene zurückgespielt werden (vgl. Horster 2023: 277; Schuh u. a. 2012: 295f.).

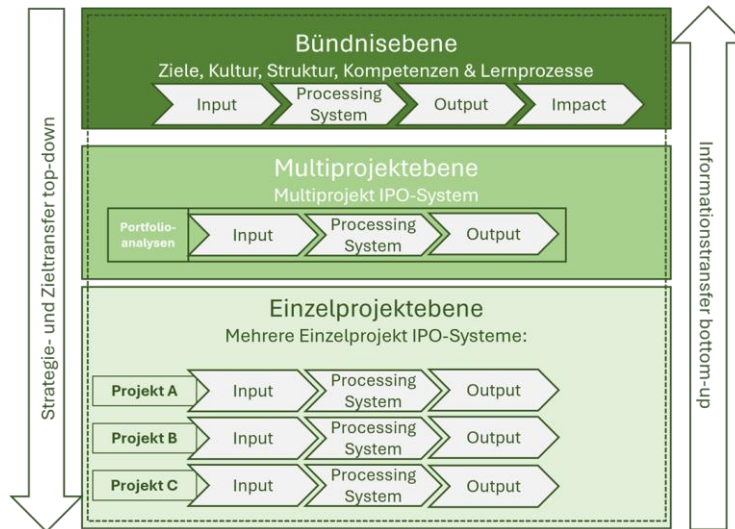


Abb. 1: Mehrdimensionales Monitoringsystem für ArtIFARM (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Brown und Svenson (1988: 12); Schentler u.a. (2010: 306); Seppo und Lilles (2012: 209))

Die vertikale Dimension erfasst die Bündnissentwicklung auf drei verschiedenen Aggregationsebenen:

- Einzelprojektebene: Messung von Effizienz und Fortschritt einzelner Vorhaben,
- Multiprojektebene: Bewertung der Projekte im Portfoliokontext, z. B. anhand Innovationspipelines,
- Bündnisebene: Abgleich mit den strategischen Zielen des Bündnisses.

Grundsätzlich sind die Steuerungsmöglichkeiten des Bündnismanagements auf der Einzelprojektebene - anders als in privatwirtschaftlichen Kontexten - durch Vorgaben öffentlicher Förderung begrenzt. Entsprechend ist es erforderlich im Entscheidungsprozess über die Bewilligung des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens die Passgenauigkeit umfassend zu bewerten und die Bündnisstrategie und die Bündnisziele transparent und kontinuierlich an die Einzelvorhaben zu kommunizieren.

In der horizontalen Dimension werden die Innovationsprozesse systematisch entlang von Input, Prozess und Output beschrieben. Während Input, Prozess und Output sowohl auf Ebene der Einzelvorhaben als auch auf Multiprojektebene vergleichsweise gut erfassbar sind, werden die Auswirkungen der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, ihr Outcome, regelmäßig erst nach deren Abschluss sichtbar (siehe Abbildung 2).

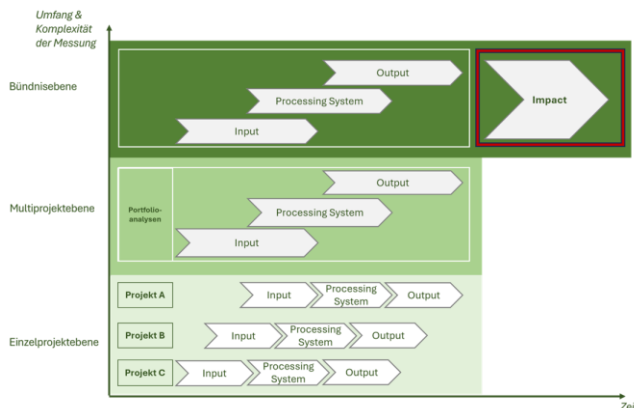


Abb. 2: Strukturwandelrelevante Auswirkungen außerhalb der Laufzeit der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (eigene Darstellung)



Abb. 3: Heat Map zur Analyse der geografischen Reichweite des Bündnisses (Quelle: Sick (2024: 49))

Nicht zuletzt wird die Messung der Outcomes durch den aufgrund der Förderrichtlinien begrenzten Technologie-Reifegrad erschwert. Deshalb sieht das Modell anstelle einer Outcome-Messung eine Impact-Messung vor (vgl. Seppo und Lilles 2012: 209). Genau in diesem Bereich setzt die Beobachtung von Frühindikatoren für strukturelevante Transformation an, die es im Ergebnis ermöglichen sollen, evidenzbasierte Aussagen zum Bündniserfolg bereits während der Förderphase des Bündnisses zu treffen (vgl. Koschatzky und Hansmeier 2023: 20).

Zur Messung des Impacts werden in das Monitoringsystem Methoden der quantitativen sozialen Netzwerkanalyse integriert. Diese ermöglichen es, Dynamiken, Kooperationsintensitäten und Reichweiten des Bündnisses sichtbar zu machen. Erste Visualisierungen, darunter eine Heat Map zur geografischen Reichweite (siehe Abbildung 3), verdeutlichen bereits, dass sich die Aktivitäten des Bündnisses zunehmend über die Kernregion hinaus ausbreiten. Mit der Steigerung dieser Aktivitäten rückt zunehmend der Aufbau bzw. die Entwicklung eines regionalen Innovationsclusters in den Fokus der ArtIFARM-Strategieentwicklung. Derartige Aktivitäten zwischen den Bündnismitgliedern gelten als wesentliche Faktoren zur Steigerung des Innovationserfolgs (Terstriep 2019: 268).

Innovationspotenziale und -hemmnisse der Bündnisregion

Zur Erfassung der Innovationspotenziale und -hemmnisse in der Bündnisregion wurden qualitative Interviews mit Landwirt*innen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse wurden mithilfe von Workshops, die im Rahmen des ArtIFARM-Strategieforums durchgeführt wurden, ergänzt. Ziel war es, die Bedarfe für digitale Lösungen sowie bestehende Hemmnisse bei der Einführung neuer Technologien zu identifizieren. Flankiert wurde diese Analyse durch eine Literature Review (vgl. Schulz 2022: 36) zu den Akzeptanzhemmnissen digitaler Technologien in der Landwirtschaft.

Im Kern verdeutlichen die Ergebnisse, dass sich die Bedarfe der Landwirt*innen in drei Themenfelder gliedern lassen:

1. Autonome Prozesse: gefordert sind vor allem praxistaugliche Feldrobotik, Automatisierungslösungen für Anbaugeräte, die Automatisierung wiederkehrender Arbeitsprozesse sowie sensorbasierte Systeme zur Fehlervermeidung und teilflächenspezifischen Detektion. Hemmnisse bestehen in der Komplexität der Systeme und im Qualifizierungsbedarf des Personals.
2. Digitales Agrarmanagement: die Vielzahl verfügbarer Plattformen und Apps führt zu Auswahlproblemen bei gleichzeitig begrenztem Nutzen. Vorrangig sind Lösungen gefragt, die Schnittstellenprobleme und Synchronisierungsfragen adressieren und eine integrierte Entscheidungsunterstützung bieten.
3. Digitale Lösungen für Transparenz: Landwirt*innen suchen Instrumente, um negative gesellschaftliche Wahrnehmungen zu reduzieren („Flightradar für die Landwirtschaft“) und Lösungen, die die Kommunikation mit Behörden zu erleichtern. Hemmnisse entstehen hierbei in der Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle und komplexe Zuständigkeiten.

Zusammengefasst verdeutlicht die Analyse, dass der Bedarf an entscheidungsunterstützenden Lösungen am höchsten ist und sich vor allem auf den Bereich Pflanzenbau bezieht. Letztgenanntes unterstützt die durchgeführte Regionalanalyse welche zeigt, dass die Landwirtschaft der Bündnisregion vergleichsweise stark auf marktfruchtorientierte Pflanzenproduktion ausgerichtet ist. Zudem zeigt sich, dass der Aufbau von Daten- und Wissensdatenbanken eine wichtige Grundlage für künftige Entwicklungen darstellt. Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit anderen Arbeiten zu digitalen Technologien in der Landwirtschaft (z.B. Gscheidle 2022: 10; Koch 2020). Die Ergebnisse der Analysen wurden unmittelbar in das Konzept zur zweiten Umsetzungsphase von ArtIFARM integriert und in den ArtIFARM-Calls

berücksichtigt. Das Vorhaben ArtISTRAT trägt insoweit dazu bei, die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten an den realen Bedarfen der Landwirtschaft auszurichten.

Landwirtschaftliche, industrielle und wissenschaftliche Strukturen der Bündnisregion

Die Analyse der regionalen Gegebenheiten verdeutlicht, dass die Bündnisregion in erster Linie durch großflächige, ackerbaulich dominierte Betriebe geprägt ist, die zunehmend auch ökologische Produktionsweisen einbeziehen. Diese Betriebe bilden die Hauptnachfrager digitaler Technologien und geben durch ihre Bedarfe wichtige Impulse für die Ausrichtung zukünftiger Entwicklungen.

Demgegenüber zeigt sich eine schwache industrielle Basis innerhalb der Kernregion. Technologieorientierte Branchen, die digitale Lösungen für die Landwirtschaft bereitstellen könnten, sind nur in Ansätzen vorhanden. Ebenso wenig wird eigenständige Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den vorhandenen Unternehmen geleistet. Hier sind Kooperationsaktivitäten mit wissenschaftlichen Einrichtungen relevant. Potenziale für ArtIFARM ergeben sich daher insbesondere durch Kooperationen mit benachbarten Standorten, etwa dem Raum Rostock, der über eine höhere Industriedichte relevanter Unternehmenszweige verfügt.

Die wissenschaftlichen Einrichtungen fungieren in der Bündnisregion als zentraler Innovationskern. Sie übernehmen Aufgaben im Wissenstransfer, in der Technologiediffusion und in der Gründungsförderung. Gleichzeitig bestehen strukturelle Einschränkungen, die die Dynamik von Innovationsprozessen verlangsamen können. Eine systematische Einbindung der Hochschulen und Forschungseinrichtungen in die regionalen Wertschöpfungsprozesse wird daher als entscheidend für den Aufbau eines Innovationsclusters angesehen.

In der Gesamtschau zeigen die in ArtISTRAT durchgeführten Analysen, dass die Weiterentwicklung des Innovationsfeldes Digitale Landwirtschaft in der Region von einem abgestimmten Zusammenspiel zwischen landwirtschaftlicher Nachfrage, industriellen Angeboten und wissenschaftlicher Forschung abhängt. Nur durch deren koordinierte Verzahnung, z.B. durch den Aufbau eines Innovationsclusters, lassen sich wertschöpfende Entwicklungspfade im Innovationsfeld Landwirtschaft nachhaltig aufbauen.

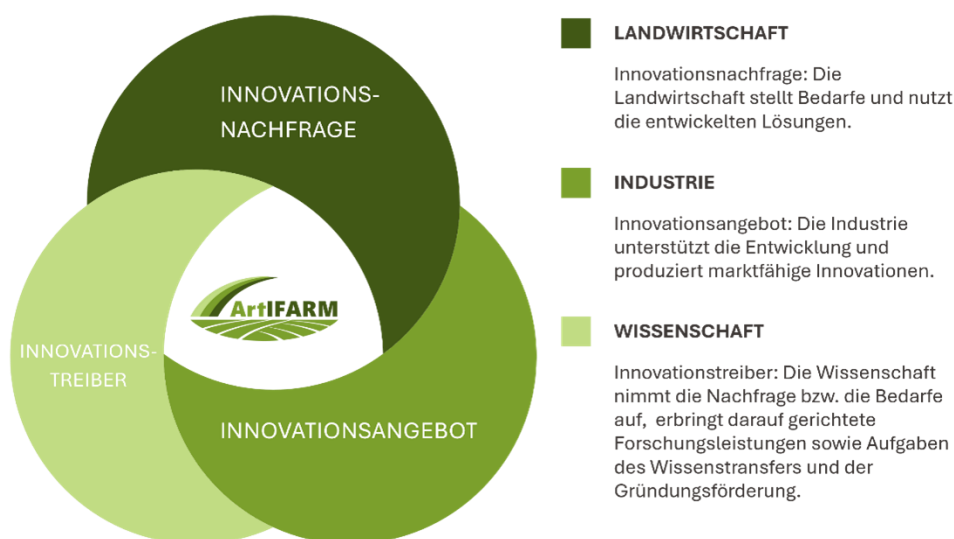


Abb. 4: Perspektiven in der ArtIFARM Bündnisregion (eigene Darstellung)

Institutionelle Komplexität: Widersprüchliche Erwartungen und Strukturen innerhalb von ArtIFARM

Zur Erhebung möglicher Widersprüche zwischen den Erwartungen der heterogenen Mitgliedergruppen innerhalb des Bündnisses wurden zwischen Januar 2023 und November 2024 in drei Wellen insgesamt 29 qualitative Interviews mit ArtIFARM-Mitgliedern durchgeführt. Der halb standardisierte Leitfaden umfasste Fragen zur Wahrnehmung der Kommunikation innerhalb von ArtIFARM sowie zu Erwartungen an das Bündnis. Es wurden Mitglieder aus den Bereichen Wissenschaft, Landwirtschaft und Industrie interviewt, die jeweils unterschiedliche Rollen im Bündnis einnehmen, insbesondere Bündnisleitung, Projektleitung und Projektmitglieder.

Auf die Frage nach den Zielen und Interessen, die sowohl für den Verbund insgesamt als auch auf Projektebene relevant sind, zeigen sich erkennbare Differenzierungen entlang der Berufsgruppen. Landwirtschaftspartner benennen die Förderung der Region, den Beitrag zum Klimaschutz, die Technologisierung der Landwirtschaft und die Senkung von Kosten als Ziele ihrer Projekte und zugleich auch als Ziele des Verbundes. In den Aussagen der Industriepartner spiegeln sich diese Zielsetzungen, wobei ergänzend die Wettbewerbsfähigkeit der Region, die Schaffung attraktiver Arbeitsplätze, Vernetzung in der Region und Nachhaltigkeit angeführt werden. Die befragten Wissenschaftspartner benennen ebenfalls alle diese Ziele, verfolgen aber zugleich die Erkenntnisinteressen ihrer jeweiligen Forschungsprojekte. Manche heben zudem das Ziel von Ausgründungen in der Region hervor. Auch persönliche Ziele, wie die Einwerbung von Mitteln zur Finanzierung von Projekten spielen eine Rolle.

Darüber hinaus geht aus den Interviews hervor, dass die Anforderungen der Förderlinie des Bundes zu widersprüchlichen Erwartungen etwa im Spannungsfeld zwischen Grundlagenforschung und Anwendungsbezug führen. Aus der Wahrnehmung der Kommunikation innerhalb des Bündnisses lassen sich widersprüchliche Erwartungen an Bündnismitglieder ableiten, die einerseits die Top-down vermittelten Zielvorgaben der Bündnisleitung einhalten und diese andererseits in einer Bottom-up-Logik selbst mitgestalten sollen. Die Rolle von Landwirt*innen im Bündnis wird sowohl als eher passive Nachfrager*innen der entwickelten Innovation als auch in der aktiven Mitentwicklung dieser Technologien gesehen. Zudem bestehen unterschiedliche Erwartungen an die Gestaltung der Kommunikation innerhalb des Bündnisses, beispielsweise zur Wahl der Sitzungssprache oder zur Freigabe und Verbreitung von Strategiedokumenten und Forschungskonzepten innerhalb des Bündnisses.

Ziele der Förderlinie	Ziele des Bündnisses	Führung und Kultur im Bündnis
<ul style="list-style-type: none"> Wissenschaftlichkeit vs. Anwendungsbezug Innovation vs. Starrheit der Förderrichtlinien Wissenschaftlichkeit und Innovation mit globalem Anspruch vs. regionaler Strukturwandel 	<ul style="list-style-type: none"> Wissenschaft vs. Industrie vs. Landwirtschaft starke vs. schwache Nachhaltigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Hierarchie vs. Partizipation und Selbstorganisation Transparenz vs. Geheimhaltung Familienfreundlichkeit Englischsprachigkeit vs. Deutschsprachigkeit Stereotype Wahrnehmung von Landwirt*innen Widersprüchliche Erwartungen an Landwirt*innen im Bündnis

Tabelle 1: Identifizierte Widersprüche zwischen Erwartungen und Strukturen in ArtIFARM (eigene Darstellung)

Die Analyse zeigt, dass sich die zentralen Widersprüche im ArtIFARM-Bündnis auf drei Ebenen manifestieren: in den Rahmenbedingungen der Förderlinie, in den Zielsetzungen des Bündnisses selbst sowie in Fragen der Führung und Kultur. Dabei wird deutlich, dass sich die Spannungen nicht als Ausnahmen, sondern vielmehr als strukturprägende Elemente erweisen, die die Zusammenarbeit im Verbund

prägen. Auf der Ebene der Förderlinie wird sichtbar, dass ein Spannungsfeld zwischen dem Ziel weltweit konkurrenzfähiger wissenschaftlicher Innovation und dem Anspruch regionaler Verankerung besteht. Für das Bündnis selbst zeigt sich, dass die unterschiedlichen institutionellen Hintergründe, insbesondere zwischen Wissenschaft, Landwirtschaft und Industrie, zu divergierenden Prioritäten und damit auch zu Zielkonflikten führen. Schließlich verweisen die Befunde im Bereich Führung und Kultur darauf, dass sich die unterschiedlichen institutionellen Hintergründe der Mitglieder auch in Fragen der Entscheidungsstrukturen, Kommunikationspraktiken und Rollenverständnisse niederschlagen und somit die Zusammenarbeit in allen Bereichen nachhaltig beeinflussen.

Umgang mit Widersprüchen innerhalb von ArtIFARM

Um die Verarbeitung der identifizierten Widersprüche im ArtIFARM-Bündnis zu erheben, wurden über einen Zeitraum von fast zwei Jahren insgesamt 14 qualitative teilnehmende Beobachtungen von internen Veranstaltungen und Sitzungen durchgeführt. Es wurden sowohl die jährlichen Klausurtagungen als auch Strategieforen und Leitungssitzungen beobachtet. Die Beobachtungsprotokolle wurden manuell erstellt und vollständig anonymisiert, so dass eine nachträgliche Rückverfolgung einzelner Personen durch unbeteiligte Außenstehende nicht möglich ist. Der Schwerpunkt der Analyse lag nicht auf Aussagen einzelner Mitglieder, sondern auf den Kommunikationsdynamiken innerhalb der jeweiligen Gruppe und dem Zusammenspiel zwischen allen beteiligten Personen.

Die beobachteten Umgangsformen mit Widersprüchen reichen von defensiven Reaktionen über einseitige Lösungen bis hin zu Strategien in Form des Oszillierens und Ausbalancierens verschiedener Interessen (vgl. Putnam u. a. 2016: 17, 62–63). Als förderlich für den Umgang mit Widersprüchen kann die Ausrichtung mehrerer offener Diskussionen zu strategischen Fragen im Rahmen unterschiedlicher Veranstaltungsformate betrachtet werden. Bei diesen Gelegenheiten konnten Mitglieder ihre durchaus heterogenen Positionen, etwa zum Ziel der Nachhaltigkeit, zu Wort bringen, wobei wechselseitiges Zuhören und ein respektvoller Umgang trotz teils emotionaler Diskussionen zu beobachten war. In Bezug auf die Rahmenbedingungen dieser Diskussionen wurde deutlich, dass Zeitmangel und eine fehlende professionelle Moderation die Bearbeitung von kontroversen Themen erschwerten. Die Diskussionen verliefen oftmals sehr frei. Diese Offenheit ermöglichte kreative Beiträge und bot Raum für die Artikulation unterschiedlicher Perspektiven, auch wenn ohne strukturierende Abschlussrunde und Nachbereitung ein gemeinsamer Umgang mit den aufgeworfenen Spannungen erschwert wurde. Diskussionen konnten häufig nicht zu Ende geführt werden, wodurch Potenziale zur Klärung und gemeinsamen Bearbeitung ungenutzt blieben.

Es konnte beobachtet werden, dass das Bündnis insgesamt durch einen eher hierarchischen Führungsstil geprägt ist, was sich in Bezug auf den Umgang mit Widersprüchen als ambivalent erwies. Einerseits bot eine klare hierarchische Orientierung den Mitgliedern Struktur und ermöglichte letztlich Entscheidungen in konflikthaften Situationen, was dem Verbund Stabilität verlieh. Andererseits wurden die dadurch eingeschränkten Partizipationsmöglichkeiten von einigen Mitgliedern als hinderlich erlebt, da diese sich stärker in Entscheidungsprozesse einbringen wollten. Zugleich wünschte sich die Bündnisleitung an manchen Stellen mehr Partizipation, was aufgrund des übergeordneten eher hierarchischen Rahmens temporäre Phänomene der Paralyse auslöste (vgl. Putnam u. a. 2016: 19–20), die dadurch umgangen wurden, dass die Zusammenarbeit zu den betroffenen Themen in anderen Konstellationen innerhalb des Bündnisses fortgesetzt wurde. Somit stellten die hierarchische Struktur samt Zeitmangel sowohl eine Ressource für die konstruktive Bearbeitung von Widersprüchen als auch ein Hemmnis für partizipative Aushandlungsprozesse dar.

Zudem zeigte sich, dass Widersprüche zum Ziel der Nachhaltigkeit teilweise durch Reframing über den Begriff der Ressourceneffizienz bearbeitet wurden (vgl. Putnam u. a. 2016: 64). In solchen Fällen wurden bestehende Spannungen zwischen einem starken und schwachen Nachhaltigkeitsverständnis nicht als unauflöslicher Konflikt, sondern als produktive Differenz betrachtet, die neue Perspektiven eröffnete und so das Bündnis in seiner inhaltlichen Arbeit voranbrachte. Durch diesen Impuls der Bündnisleitung wurde ein Zeitfenster geöffnet, in dem die strategische Ausrichtung des Bündnisses in Hinblick auf Nachhaltigkeit offen diskutiert werden konnte mit dem Ergebnis, dass Nachhaltigkeit als Zielgröße beibehalten wurde. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Bearbeitung von Widersprüchen im Bündnis, wie für Organisationen mit einem hohen Grad an institutioneller Komplexität typisch (Besharov und Smith 2014) stets ein Balanceakt zwischen dem Auseinanderdriften und Zusammenführen von Zielen und Interessen ist.

Kommunikative Treiber und Hemmnisse von Innovationen im ArtIFARM

Für die Zusammenarbeit im Bündnis ist der interne Informationsfluss zentral, der wesentlich durch das Innovationsmanagement gelenkt wird. Auf Bündnisebene bestehen die Kommunikationskanäle aus dem Newsletter, der Webseite und dem direkten Kontakt zum Innovationsmanagement, während auf Projektebene vor allem die Verbundkoordination, Projektleitungen und Team-Meetings für die Weitergabe von Informationen an Projektmitglieder relevant sind. In den Interviews zeigte sich, dass die Veranstaltungen des Bündnisses als besonders hilfreich wahrgenommen wurden, etwa Klausurtagungen, Strategieforen und Netzwerktreffen. Um den Informationsfluss zu erhöhen, hat das Innovationsmanagement nach einem Feedbackgespräch des Strategieteams Verbundkoordinator*innentreffen eingeführt, damit diese als Multiplikator*innen Informationen gezielt an ihre Teams weitergeben können. Ergänzend wurde der Statusbericht als Informationsmedium etabliert. Ein weiteres Ergebnis des Feedbackprozesses war, dass der Newsletter häufiger und mit detaillierten Nachrichten über Projekte und Bündnismitglieder versendet wird.

Mit Blick auf die Kommunikationskultur beschreiben die Interviewten ArtIFARM mit Adjektiven wie positiv, offen, freundschaftlich, transparent und partizipativ. Besonders hervorgehoben wird der interessante Austausch zwischen Personen und Projekten sowie die positive Atmosphäre auf Veranstaltungen, die durch ein gut moderiertes Rahmenprogramm unterstützt wird. Negativ bewertet werden hingegen lange Anfahrtswege, teilweise geringe Teilnehmereinzahlen bei kleineren Workshops und die inhaltliche Bandbreite der Veranstaltungsthemen, wobei einige Vorträge als zu abstrakt oder fachfremd erschienen. Gleichzeitig deuten die Ergebnisse der Interviews darauf hin, dass ArtIFARM durch die Schaffung eines regionalen Netzwerks und eine transparente Zusammenarbeit eine innovationsfördernde Umgebung etabliert hat. Befragte geben an, dass kontrovers diskutiert werden könne und in diesem Rahmen vielversprechende Ideen entstehen. Hemmend wirken sich Datenschutzrichtlinien und Geheimhaltungsbedarfe in Bezug auf technologische Innovationen aus, da sie zu einem ungleichen Informationsstand der Partner führen und deren Handlungsfähigkeit einschränken.

Insgesamt erweist sich die Gestaltung von Kommunikations- und Entscheidungsprozessen als Schlüsselfaktor für die Innovationsfähigkeit des Bündnisses. Während offene Diskussionen, transparente Informationsflüsse und eine positiv erlebte Kommunikationskultur die Zusammenarbeit stärken, können Zeitdruck und ungleiche Informationsstände die Bearbeitung von Widersprüchen und damit auch die Innovationsfähigkeit hemmen. Mithilfe dieser Erkenntnisse können in der zweiten Umsetzungsphase des Bündnisses kommunikative Hürden gezielt abgebaut werden. Nachdem die internen Innovationspotenziale und -hemmnisse erhoben wurden, widmet sich das Folgeprojekt im kommunikationswissenschaftlichen Teilbereich gezielt der Außenkommunikation sowie kommunikativen Maßnahmen, die die Verstärkung des Bündnisses vorantreiben.

Wirkung des Vorhabens in der Bündnisregion und im ArtIFARM-Netzwerk sowie Verstärkung der Ergebnisse

ArtISTRAT wirkt primär durch die systematische Analyse und Begleitung des ArtIFARM Bündnisses sowie der Beratung des Bündnismanagements. Mit dem entwickelten Monitoringsystem werden Transparenz und Steuerbarkeit erhöht, sodass strategische Entscheidungen auf einer empirischen Grundlage getroffen werden können als auch aufgrund des partizipativen Ansatzes, ArtIFARM-Stakeholder*innen aktiv miteinzubeziehen. Dadurch werden nicht nur die internen Strukturen des Bündnisses gestärkt, sondern auch Voraussetzungen geschaffen, um regionale Innovationspotenziale zielgerichtet zu adressieren.

Ein wesentlicher Beitrag liegt in der Förderung von Kooperationen und Netzwerkdynamiken, die über die Kernregion hinausreichen. Erste Auswertungen zeigen eine zunehmende Ausweitung der Aktivitäten und Kontakte über die Bündnisgrenzen hinweg. Ergänzend trägt ArtISTRAT durch Vorträge und Präsentationen sowohl innerhalb als auch außerhalb der Region zur Sichtbarkeit und Erweiterung des Bündnisses bei.

Darüber hinaus schaffen die im Rahmen der Strategieforen etablierten Austauschformate eine Plattform, um die heterogenen Interessensgruppen des Bündnisses zusammenzuführen. Hierdurch wird nicht nur die Vernetzung innerhalb des Bündnisses intensiviert, sondern auch die Rolle der regionalen Industriepartner sichtbar gemacht. Insgesamt leistet ArtISTRAT damit einen Beitrag zur Stärkung und Weiterentwicklung des Bündnisses und damit wiederum für einen effektiven Einsatz der bereitgestellten öffentlichen Fördermittel.

Literatur

Besharov, Marya L.; Smith, Wendy K. (2014): Multiple Institutional Logics in Organizations: Explaining Their Varied Nature and Implications, in: *Academy of Management Review*, Jg. 39, Nr. 3, S. 364–381, doi: 10.5465/amr.2011.0431.

Brown, Mark G.; Svenson, Raynold A. (1988): Measuring R&D Productivity, in: *Research Technology Management*, Taylor & Francis, Ltd., Nr. 31, S. 11–15.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): *WIR! – Wandel durch Innovation in der Region Informationen für die Konzeptphase und Leitfaden für die Erstellung eines „WIR!“-Konzepts*, Berlin.

Gscheidle, Michael (2022): Strukturwirkung der Digitalisierung in der Landwirtschaft, in: *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*, Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Jg. 100, doi: 10.12767/BUEL.V100I1.374.

Horster, Eric (2023): *Customer Experience Management: Wow-Momente in der digitalisierten Welt*, 1. Auflage 2023., Freiburg: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG.

Koch, Hans Christian (2020): Landwirte-Befragung Thüringen 2020: Digitaler Technologien in der Landwirtschaft, Erfurt, 25.11.2020.

Koschatzky, Knut; Hansmeier, Hendrik (2023): Regionale Entwicklungsprozesse im Kontext von Strukturwandel und Transformation, in: *Nachhaltige Transformation und resilienter Strukturwandel in Regionen*, Stuttgart: Fraunhofer (ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale), S. 1–26.

Loroff, Claudia (2009): Begleitforschung unterstützt Innovationsprozess-Aufgaben und Anforderungen beleuchten, in: *Wissenschaftsmanagement*, Nr. 4, S. 27–35.

Putnam, Linda L.; Fairhurst, Gail T.; Banghart, Scott (2016): Contradictions, Dialectics, and Paradoxes in Organizations: A Constitutive Approach, in: *Academy of Management Annals*, Jg. 10, Nr. 1, S. 65–171, doi: 10.5465/19416520.2016.1162421.

RWTH Aachen University (2025): WIR! | TIME Research Area | RWTH Aachen University | DE, *WIR! Wandel durch Innovation in der Region*, [online] <https://www.time.rwth-aachen.de/cms/TIME/Forschung/Forschung-am-TIM/Regional-Innovation-Lab/Projekte/~pmbry/WIR-/> [25.09.2025].

Schentler, Peter; Lindner, Frank; Gleich, Ronald (2010): Innovation Performance Measurement, in: Gerybadze, A., Hommel, U., Reiners, H., Thomaschewski, D., Peter Schentler, Frank Lindner, u. a. (Hrsg.), *Innovation and International Corporate Growth*, Springer, Berlin, Heidelberg, S. 299–317, doi: 10.1007/978-3-642-10823-5_18.

Schuh, Günther; Arnoscht, Jens; Schiffer, Michael (2012): Innovationscontrolling, in: *Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Management 3*, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg, S. 249–349, doi: 10.1007/978-3-642-25050-7.

Schulz, Annalena (2022): Akzeptanzhemmnisse für den Einsatz digitaler Technologien, (Masterarbeit), Stralsund: Hochschule Stralsund.

Seppo, Marge; Lilles, Alo (2012): Indicators Measuring University-Industry Cooperation, in: *Estonian Discussions on Economic Policy*, MATTIMAR OÜ, Jg. Vol 20, S. No 1 (2012), doi: 10.15157/TPEP.V20I1.782.

Sick, Anika (2024): Entwicklung eines Konzeptes zur Visualisierung und dynamische Analyse eines Innovationsnetzwerkes mithilfe einer Netzwerkanalysesoftware, (Bachelorarbeit), Stralsund: Hochschule Stralsund.

Terstriep, Judith (2019): *Bedeutung von Clustern für die Innovativität von Unternehmen: Innovation, Wissen, Relationen*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, doi: 10.1007/978-3-658-27818-2.

ArtIGROW

Vorhersage von Pflanzenwachstum, Ertrag und Wirtschaftlichkeit mit einem KI-gestützten System

Mareike Fischer, Mario Georgi, Sophie Kersting, Jürgen Kreyling, Frank Lemke, Bo Peters, Mark Vehse

Kurzbeschreibung des Vorhabens

Das Projekt ArtIGROW hat als Ziel die Entwicklung eines skalierbaren Demonstrators einer Analyse- und Optimierungsplattform/-pipeline für Präzisionslandwirtschaftsdaten. Diese Plattform soll zunächst auf regionaler Ebene eingesetzt werden und langfristig auch den nationalen und europäischen Agrarmarkt bedienen.

Ein zentrales Element ist die Entwicklung eines prädiktiven biomathematischen Modells, das sowohl das ober- als auch das unterirdische Pflanzenwachstum abbildet. Dafür kombiniert der Demonstrator verschiedene Datenquellen:

- Echtzeit-Monitoring oberirdischer Wachstumsparameter aus satellitengestützten Erdbeobachtungsdaten (SatEO),
- unterirdische Wurzelwachstumsdaten aus automatisierten Minirhizotronen (durchsichtige, ca. 7 cm breite Röhren, die in den Boden eingelassen werden und Einblicke in die Entwicklung des Wurzelsystems ermöglichen; siehe Abbildung 1),
- Referenzdaten zu Pflanzentypen und Böden,
- sowie Informationen aus weiteren agronomischen Modellen.

Ein zentrales Vorhaben von ArtIGROW ist die Entwicklung eines KI-basierten Modells, das den Einfluss von Umweltfaktoren (z. B. Bodenfeuchtigkeit) sowie den Einsatz von Betriebsmitteln wie Dünger oder Pflanzenschutzmitteln auf Wurzelwachstum und Wurzelgesundheit vorhersagen kann. Bestandteil dieses Ansatzes ist ein neues Monitoringsystem, das die bestehenden Minirhizotrone automatisiert: Sie sollen die Wurzeln in festgelegten Intervallen selbstständig scannen, die Daten per Fernübertragung bereitstellen und die Bildaufnahmen in Echtzeit mit der KI-Software „RootDetector“ analysieren. Diese erkennt und quantifiziert das Wurzelwachstum zuverlässig auf den Scans.



Abb. 1: Blick in ein Minirhizotron

Damit integriert der Demonstrator sowohl Daten aus dem oberirdischen Pflanzenwachstum als auch Daten aus dem unterirdischen Wurzelsystem und liefert so ein deutlich differenzierteres Bild vom Zustand der Nutzpflanzen als bisherige biomathematisch-agronomische Modelle. Die Kombination von Live-Daten aus SatEO und Wettermodellen, der quasi-Echtzeit-Erfassung der Wurzelndynamik über automatisierte Minirhizotrone sowie den hinterlegten Algorithmen zur Pflanzengesundheit ermöglicht damit erstmals eine präzise Früherkennung von auch unterirdischen Veränderungen im Pflanzenbestand.

Auf Basis des Vorhersagemodells sollen Handlungsempfehlungen zur Optimierung des ökonomischen und ökologischen Impacts abgeleitet werden, wie etwa durch die gezielte Einsparung von Dünger und Wasser, die Anpassung von Düngestrategien oder die Früherkennung von Wurzelkrankheiten.

Das Team

Das Team von ArtIGROW besteht aus Pflanzenökolog*innen und Biomathematiker*innen der Universität Greifswald (ROOTS@ArtIGROW), Maschinenbauingenieur*innen der Hochschule Stralsund (SCAN@ArtIGROW) und Expert*innen für das Modellieren von Wetter- und Klimadaten des Unternehmens geopredict GmbH (FEED@ArtIGROW). Unterstützt wird das Konsortium durch den Landwirt Herrn Heitmüller, der seine Felder auf der Insel Rügen für die Experimente zur Verfügung stellt.

Frank Lemke und seine Mitarbeiter Dr. Sanjeev Kumar Gurram und Ullrike Weigel (FEED@ArtIGROW) übernehmen die Satellitendatenbeschaffung und -analyse, die Harmonisierung von Daten (Data Cubes), die Modellierung und Vorhersage wetterbezogener Parameter sowie die jährliche ex ante Ertragsvorhersage verschiedener Pflanzenkulturen in Form von Ertragskarten.

Prof. Dr.-Ing. Mark Vehse und sein wissenschaftlicher Mitarbeiter Mario Georgi (SCAN@ArtIGROW) sind verantwortlich für die Auslegung, Entwicklung (Konstruktion, Installation) und die Validierung der automatisierten Minirhizotrone, die der Erfassung der Wurzelwachstumsdaten in Echtzeit dienen.

Die Analyse der Echtzeitminirhizotronsensoren bezüglich Wurzellänge, Wurzelwachstum und Wurzelturnover übernehmen Prof. Dr. Jürgen Kreyling und sein wissenschaftlicher Mitarbeiter Bo Peters (ökologischer Teil von ROOTS@ArtIGROW).

Prof. Dr. Mareike Fischer und ihre wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen Sophie Kersting und Linda Knüver (biomathematischer Teil von ROOTS@ArtIGROW) beschäftigen sich mit der Aufbereitung und Analyse der gesammelten Daten. Gemeinsam mit Frank Lemke (FEED@ArtIGROW) arbeiten sie außerdem an der Integration der oben genannten Parameter. Ziel ist die Entwicklung eines gemeinsamen Modells, das auf Grundlage hochauflösender Satellitendaten zuverlässige Prognosen zum ober- und unterirdischen Pflanzenwachstums ermöglicht.

Aktuelle Aktivitäten im Vorhaben

Das Teilprojekt SCAN@ArtIGROW wurde zum 31.07.2025 beendet. Innerhalb der Projektlaufzeit konnten wesentliche Punkte des Hauptziels, die Automatisierung der Minirhizotronsensoren, erfolgreich erarbeitet werden. Drei Punkte niedriger bis mittlerer Priorität konnten bisher noch nicht abgeschlossen werden.

Hier ein Überblick über die Komponenten der automatisierten Scanner und ihr Status:

Mechanik	funktional
Elektrotechnik	funktional
LTE-Verbindung	funktional
Dateibenennung	funktional
Nachrüstbarkeit	funktional
Autarkie	funktional, beschränkt durch Kapazität des Energiespeichers
Datenupload	funktional für Upload in die Infrastruktur der HOST
Software	überwiegend funktional, bis auf GPS, Gyroskop und Datenupload Greifswald
Wasserdichtheit	Labortests und erste Feldversuche erfolgreich
Robustheit gegen Tierbiss	Erfahrungen aus der Feldinstallation bisher positiv
GPS	hardwareseitig vorbereitet, softwareseitig noch nicht funktional
Gyroskop	hardwareseitig vorbereitet, softwareseitig noch nicht funktional
Datenupload Greifswald	vorbereitet, softwareseitig noch nicht funktional, fehlende Serverzugangsdaten

Der Einsatz der Scanner wird momentan an zwei Standorten erprobt.

Die Wurzelscandaten vom Feldversuch 2023/24 konnten vollständig von ROOTS@ArtIGROW analysiert werden. Die Wurzelscans des neuesten Feldversuchs 2024/25 wurden schon durch den „RootDetector“ verarbeitet und werden momentan durch das Softwarepaket „RootscanR“ zusammengesetzt (stitching) und nach Tiefenschichten aufgeteilt ausgewertet. Das für die Weiterverarbeitung der durch den „Root-Detector“ gelabelten Wurzelscans erstellte R Paket „RootscanR“ wurde auf beiden Datensätzen getestet und zur Veröffentlichung auf dem offiziellen Servernetzwerk für R Pakete, CRAN, eingereicht. Interesse an der Nutzung des Software-Pakets von anderen Arbeitsgruppen und Projekten (andere Drittmittelprojekte an der Universität Greifswald, Universität Leipzig) wurde schon bekundet.

FEED@ArtIGROW konnte ex ante Ertragsvorhersagen für 4 Schläge im Frühjahr 2025 mit einer Auflösung von 10 x 10 mehrmals dem Landwirtschaftsbetrieb Heitmüller zur Verfügung stellen. Des Weiteren wurde ein initiales Wurzelwachstumsmodell in Form eines linearen dynamischen Gleichungssystems auf Basis der im Feldversuch 2023/24 gewonnen Wurzeldaten in Kombination mit Satellitendaten entwickelt.

Bisher erreichte Ergebnisse

SCAN@ArtIGROW ist es gelungen, ein automatisiertes Minirhizotron zu entwickeln, welches folgende Funktionen bedient:

- Ansteuerung per Remote-Zugriff
- Automatische Abarbeitung eines Scanzklus über die gesamte Länge des (Mini-)Rhizotrons
- Benennung der erstellten Bilddaten nach einem definierten Schema
- Upload der erstellten Bilddaten auf einen Datenserver
- Zeitweilige Autarkie (begrenzt durch Kapazität des genutzten Energiespeichers)
- Dichtheit gegenüber Regen

Die aufgetretenen Herausforderungen, insbesondere die Integration aller Komponenten in einen sehr begrenzten Bauraum, konnten im Wesentlichen erfolgreich gelöst werden. Derzeit dysfunktionale Funktionen (GPS; Gyroskop und Datenupload in die Infrastruktur der Universität Greifswald) konnten bereits erfolgreich im Laboraufbau getestet werden. Allerdings wurden bei der Überarbeitung der Gerätesoftware Komplikationen interner Ausführungsberechtigungen festgestellt. Diese konnten noch nicht behoben werden, sodass die entsprechenden Softwaremodule weiterhin deaktiviert sind.

Zudem wurden milchige Schleier auf den Bilddaten beobachtet. Diese sind bereits von manuellen Scannern bekannt. Diese Schleier stören die Verwertbarkeit der Daten und sollten daher durch noch zu entwickelnde Maßnahmen reduziert oder gar abgestellt werden.

Es hat sich weiterhin gezeigt, dass der Aufwand im Bereich IT deutlich höher ist als zunächst angenommen; sowohl für die Entwicklung der Software als auch das Einrichten und die Betreuung der Daten-server, deren Berechtigungsgruppen und Einzelzugänge.

Fertiggestellte Minirhizotrone befinden sich momentan zur Felderprobung an Alternativstandorten im Einsatz.

Während des Labor- und Feldbetriebs wurden bereits folgende Optimierungspotentiale erkannt:

- Überarbeitung der gewählten Komponenten für geringeren Energiebedarf
- Nutzung von Solarpanels für erweiterte Autarkie
- Prüfen und Umsetzen von "Energiesparmodi"
- Überarbeitung von mechanischen und elektromechanischen Komponenten zur Stabilisierung mechanischer Funktionen

Trotz der Erkenntnisse aus vorangegangenen Feldversuchen, die für eine Verbesserung der Bildqualität gesorgt haben, stellten sich auch im Feldversuch 2024/25 die Hohlräume in der Bodenmatrix entlang der Minirhizotrone als problematisch dar. Diese Hohlräume können aufgrund der notwendigen jährlichen Reinstallation der Minirhizotrone auf dem Feld nicht vermieden werden. Sich an der Außenseite der Minirhizotron-Röhren niederschlagende Bodenfeuchte beeinträchtigt die automatische Analyse durch den „RootDetector“ zum Teil, da entsprechende Areale fälschlich als Abklebung bzw. Fremdkörper erkannt werden. Umfassendes Training der Modelle könnte diese Fehler verhindern. Es scheint jedoch sinnvoll, alternative Einbaumethoden zu erproben, um eine um die Röhre geschlossene Bodenmatrix auch bei jährlicher Reinstallation sicherzustellen. Insgesamt ließ die Qualität der Bilder aber trotz o.g. Bildfehler eine sinnvolle Analyse zu.

Der „RootDetector“ wurde durch Mitarbeiter des Rechenzentrums der Universität Greifswald auf die örtliche Server-Infrastruktur überspielt. Es wurde eine Pipeline implementiert, die auflaufende Bilder automatisch der Analyse durch den „RootDetector“ zuführt, sowie deren Resultate zuverlässig sichert.

Da die Automatisierung der Scanner nicht mehr innerhalb des Zeitraums von Feldversuch 2024/25 beendet werden konnte, wurde ihr Einsatz von ROOTS@ArtIGROW an zwei Alternativstandorten erprobt. Ziel war dabei auch, die Analysezuverlässigkeit in der Abwesenheit von rein installationsbedingten Bildfehlern zu erproben. Dafür wurden im August 2025 zwei Einheiten in zwei anderen Biotopen installiert, die im Rahmen laufender Projekte bereits beobachtet werden: im Niedermoor bei Dargun (siehe Abbildung 2) und im Buchenwald bei Eldena (siehe Abbildung 3). Humose und feuchte Böden haben sich in der Vergangenheit als besonders regenerationsfähig gezeigt, sodass Wurzelscans ohne Bodenstörungen zeitnah zu erwarten sind. Auf eine erneute Installation im Weizenfeld wurde aufgrund des Projektendes vor Einsetzen der Hauptvegetationsphase verzichtet.



Abb. 2: Kopf eines installierten Minirhizotrons im Moor bei Dargun



Abb. 3: Installiertes Minirhizotron mit Batterie im Buchenwald bei Eldena

Die Analyse der Wurzel­daten vom Feldversuch 2023/24 von ROOTS@ArtIGROW erbrachte einige interessante Erkenntnisse. In Abbildung 4 wird ein Überblick über den zeitlichen Verlauf gegeben, beispielhaft anhand der geschätzten Wurzellänge. Man kann den typischen und erwarteten saisonalen Verlauf erkennen – leichtes Wachstum im Frühwinter und eine Hauptwachstumsphase im März bis Anfang Mai. Unser neu entwickeltes R-Paket „RootscanR“ erlaubt es uns, diese Zusammenhänge noch detaillierter aufgeteilt in verschiedene Tiefenschichten zu betrachten. Deutlich ist, dass der Großteil der Wurzelmasse im Bereich zwischen 10 und 20 cm Tiefe liegt (man beachte abweichende Skalierungen der vertikalen Achsen). Generell zeigt sich, dass Wurzelmasse, die im Spätherbst/Frühwinter gewachsen ist, auch im Frühling des nächsten Jahres noch größtenteils vorliegt (ob es sich hierbei um exakt die gleichen Wurzelstücke handelt, müsste mit einer derzeit sich in Entwicklung befindenden Weiterentwicklung des „RootDetectors“ überprüft werden, die zudem auch noch erkennen kann, ob Wurzelstücke abgestorben oder noch lebendig sind). Die Hauptwachstumsphase im Frühjahr zeigt sich jedoch nicht in allen Tiefenschichten gleich: Während in den oberen Schichten (0 bis -20 cm) in dieser Zeit das meiste Wachstum stattfindet und die Wurzelmasse/-länge sich deutlich vervielfacht, stagnieren die Werte in den tieferen Schichten (-20 bis -40 cm), und nur bei zwei Minirhizotronen (T008, T009) konnte nennenswerter Zuwachs verzeichnet werden. Letzteres ist besonders interessant, da tief reichende Wurzeln Aufschluss über die Trockenheitswiderstandsfähigkeit der Pflanzen geben können. Dieser Datensatz deutet darauf hin, dass die Grundlagen (tiefes Wurzelwerk) dafür schon im Spätherbst/Frühwinter gelegt werden und nur in seltenen Fällen später weiter ausgebaut werden.

Analysen der Wurzelwachstumsraten zeigen, dass in allen neun Minirhizotronen Mitte Mai die größte negative Rate (Wurzelschwund) auftritt. Die größte positive Rate (Wurzelwachstum) tritt je nach Minirhizotron entweder Anfang November oder Anfang-/Mitte April auf.

Weiterhin scheint sich ein Zusammenhang zur Düngung zu zeigen, und man kann spekulieren, dass Düngung vermutlich nicht in den tieferen Schichten wirkt. Um dies jedoch mit Sicherheit sagen zu können, müsste dieser Zusammenhang in einem weiteren speziell designten Feldversuch mit Versuchs- und Kontrollgruppe untersucht werden. Aus den vorliegenden Daten ist zu erkennen, dass die Düngezeitpunkte im März und April vor bzw. während der Phase mit größtem Wurzelwachstum (insbesondere in der oberen Schichten) liegen. Sie liegen also begleitend zur Hauptwachstumsphase, doch der Einfluss/Effektivität der Düngung kann in diesem Datensatz ohne Kontrollversuch nicht bewertet werden.

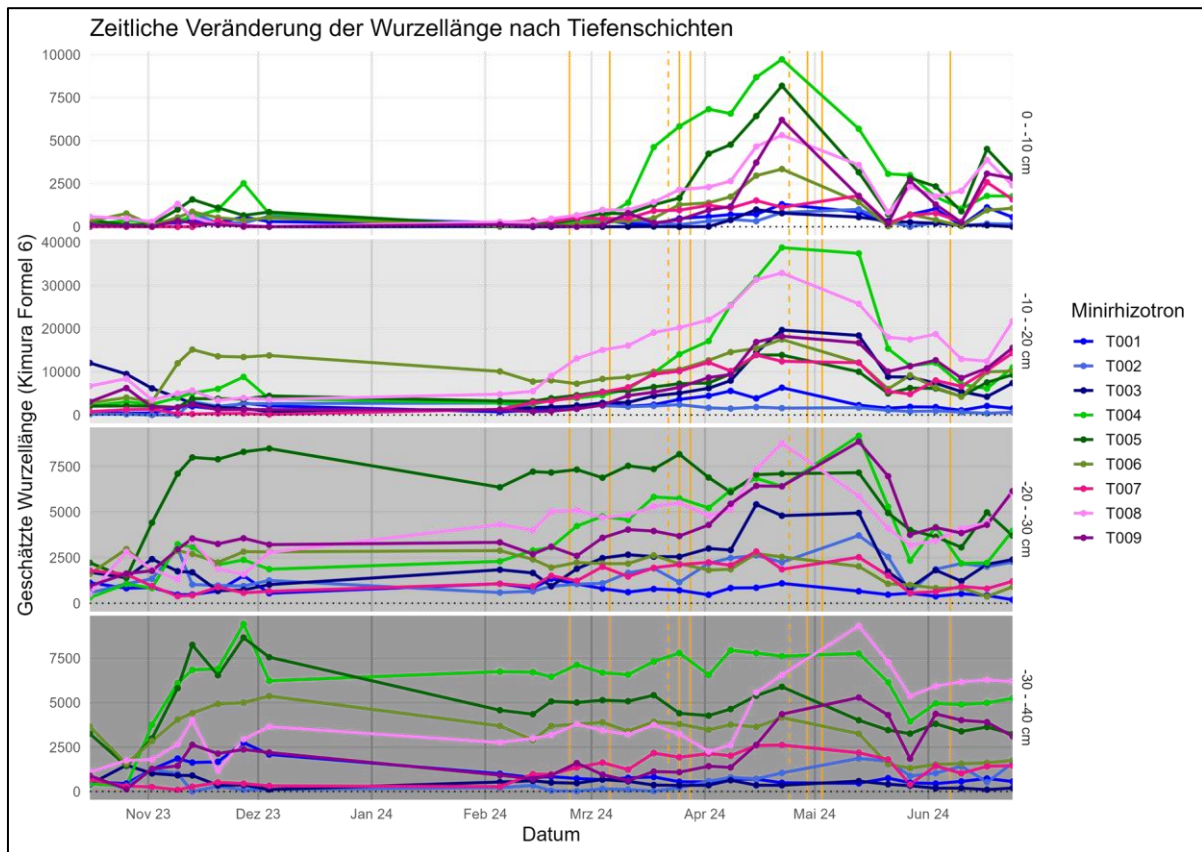


Abb. 4: Zeitreihen der geschätzten Wurzellänge über den Zeitraum des Feldversuchs 2023/24 aufgeteilt in 10 cm tiefe Erdschichten. Minirhizotrone 1, 2 und 3, sowie 4, 5, und 6 und 7, 8, und 9 bilden jeweils die dicht beieinanderstehenden Dreiergruppen. Die Punkte markieren die Wurzel-scanzeitpunkte, und die orangen vertikalen Linien die Düngzeitpunkte (gestrichelt bei Düngungen ohne Stickstoff). Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalierungen der vertikalen Achse (im Bereich -10 bis -20 cm besteht der Großteil des Wurzelvorkommens).

Die Düngungen im Mai geschehen in dem Zeitraum, in dem der Rückgang der gesamten Wurzelmasse am stärksten ist, und die Düngung Anfang Juni erfolgt vor einer Phase mit erkennbarem, aber nicht mehr ganz so starkem Wurzelwachstum. Basierend darauf könnte man die experimentell noch zu untersuchende These aufstellen, dass die letzten Düngungen im Mai und Juni, zumindest in den Wurzeln, nicht mehr so effektiv sind. Es ist durchaus möglich, dass sie in diesem Zeitraum vor allem das oberirdische Pflanzenwachstum fördern.

Die Minirhizotrone wurden in drei Dreiergruppen ((1,2,3), (4,5,6) und (7,8,9)) mit einem Abstand von 1m zueinander innerhalb der Gruppen entlang einer Traktorspur im Feld installiert. Die Gruppen selbst waren mindestens 3m von einander entfernt, jedoch alle in einem Bereich mit ähnlicher Bodenqualität und erwartetem Ertrag. In unseren Daten ist eine große Variabilität innerhalb der Gruppen zu erkennen (siehe z.B. Röhre 4 und 6 in Abbildung 4). Statistische Tests zeigen, dass Gruppen 1 und 2 unterschieden werden können, aber weder 1 und 3 noch 2 und 3 können zuverlässig unterschieden werden. Die räumliche Nähe der Gruppen und geringe Anzahl an Minirhizotronen innerhalb der Gruppen erschweren die Unterscheidung. Wir nehmen an, dass die Unterschiede in den Höhenverläufen der Zeitreihen vor allem auf die Installation der Minirhizotrone zurückzuführen ist, die nicht immer genau unter einer Pflanze erfolgen kann, und Scans dieser Minirhizotrone daher teilweise nur einen Anteil der Wurzeln anzeigen können. Diese Ergebnisse sind trotzdem von Forschungsinteresse, da sie uns einen Referenzwert liefern, welche Varianzen (abhängig z.B. vom Einbauvorgang) möglich sind, obwohl alle Minirhizotrone einen ähnlich ertragsfähigen Bereich beobachten.

Erste Untersuchungen des Einflusses vom Wetter auf das Wurzelwachstum weisen darauf hin, dass bestimmte Wetterparameter (z.B. Taupunkttemperatur, 2m Lufttemperatur, Bodentemperatur) zur Vorhersage von Wurzelwachstum beitragen können. Die Aussagekraft dieser Tests ist jedoch aufgrund der geringen Datenmenge noch sehr gering. Wir erwarten, dass die Daten des Feldversuchs 2024/25 helfen können, saisonale Effekte oder den Einfluss bestimmter Ereignisse (z.B. Trockenperioden) besser zu untersuchen. In beiden Feldversuchen konnten noch keine automatisierten Scanner benutzt werden, und die dementsprechend geringe Anzahl an Scanzzeitpunkten (geringe zeitliche Auflösung) erschwert so eine Analyse jedoch erheblich und lässt wahrscheinlich nur das Formulieren von Thesen zu, die anschließend experimentell untersucht werden müssten.

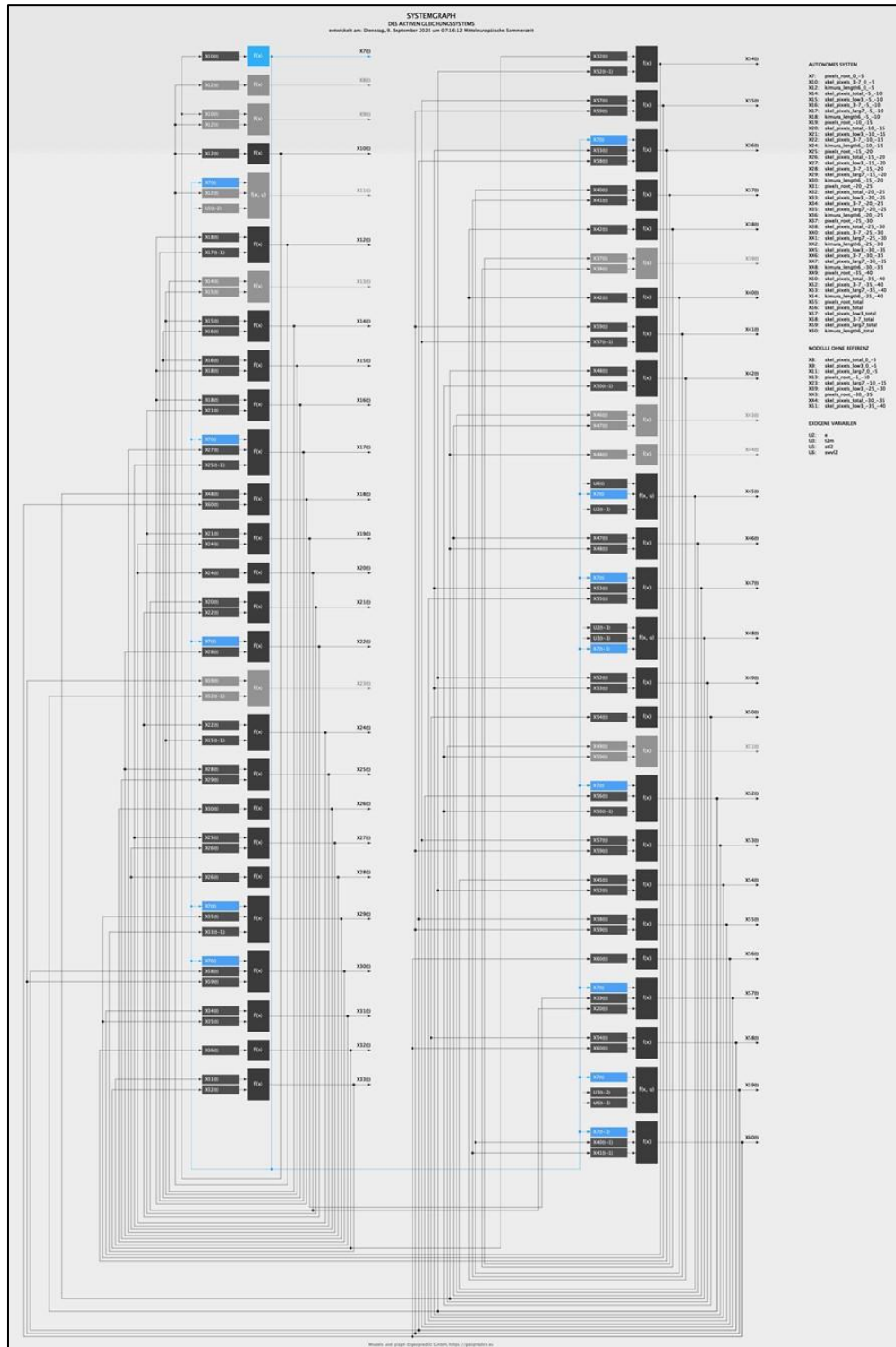
FEED@ArtIGROW hat die Genauigkeit der Ertragsvorhersagen des Jahres 2024 auf der Grundlage des tatsächlich erzielten Ertrages für 3 Schläge analysiert:

- Westlich der Bahn (Winterweizen): 83% Genauigkeit
- Teeberg (Winterweizen): 61%
- Neuhof (Wintergerste): 96%.

Basierend auf den Analyseergebnissen wurden die Ertragsmodelle optimiert und erneut ex ante Ertragsvorhersagen für 2025 für 4 Schläge mehrmals im Zeitraum April – Juli 2025 dem Landwirtschaftsbetrieb Heitmüller mit einer Auflösung von 10 x 10 m zur Verfügung gestellt.

Nach Konsolidierung der vorhandenen Wurzeldata des Feldversuchs 2023/24 für die selbstorganisierende Modellbildung, liegt ein initiales Wurzelwachstumsmodell in Form eines linearen dynamischen Gleichungssystems grafisch (Abbildung 5 und 6), analytisch und funktional vor. Dieses Gleichungssystem besteht aus 54 individuellen Modellen endogener Wurzelparameter ($X_7 - X_{60}$) und 4 exogenen Wetter- und Bodenparametern (U_2, U_3, U_5, U_6) – Verdunstung (e), 2m Lufttemperatur (t_{2m}), Bodentemperatur-Level 2 (7-28 cm Tiefe) (st_{2l}), Wasservolumen im Boden-Level 2 ($swvl_2$). Dieses durch Selbstorganisation (KI) erhaltene Differenzgleichungssystem bildet relevante Interdependenzen zwischen den endogenen Parametern des Wurzelsystems unter den betrachteten exogenen Bedingungen ab. Die Wurzeldata sind aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraumes und der geringen räumlichen Verteilung (alle Minirhizotrone befinden sich innerhalb eines Satellitendaten Gitterpunktes) derzeit als nicht hinreichend repräsentativ anzusehen. Daher hat das erhaltene Modell ausschließlich Forschungscharakter, und seine Einbeziehung in Ertragsvorhersagen ist aktuell nicht valide möglich.

Fazit: Insgesamt wurden alle Grundsteine für eine „Wurzeldatenverarbeitungs-Pipeline“ gelegt: Automatisierte Scanner für zeitlich hochauflösende Daten wurden entwickelt, die KI-basierte Software „RootDetector“ zur Wurzelerkennung wurde verbessert und für die Aufgabenstellung neu trainiert, das Software-Paket „RootscanR“ zur Weiterverarbeitung (Stitching und Tiefenschichten-Analyse) wurde neu erstellt, und erste Modelle zur Kombination von Wurzel- und Satellitendaten konnten entwickelt werden.



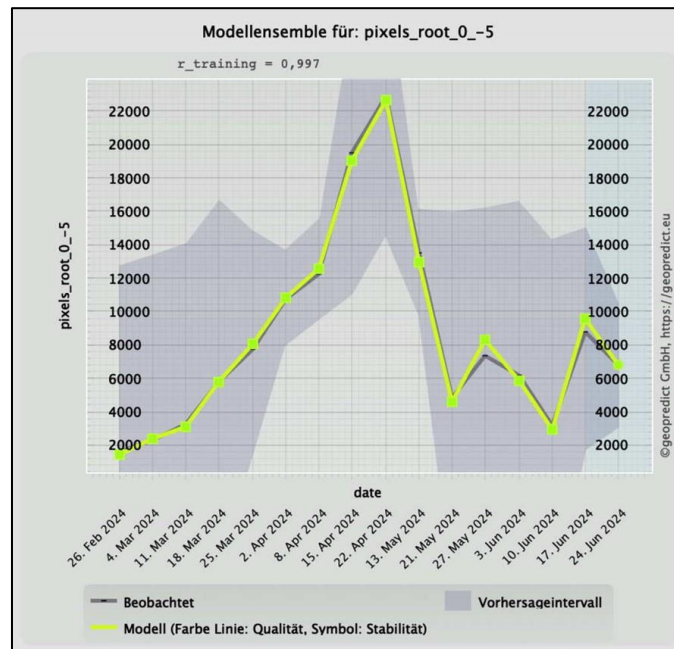


Abb. 6: Grafische Darstellung des Parameters Wurzelpixel in Schicht 0 bis -5 cm („pixels_root_0_-5“), des linearen Gleichungssystems aus Abbildung 5 - Modell (26.2.2024 – 17.6.2024) und Vorhersage (24.6.2024), einschließlich Darstellung der hohen Prozessunsicherheit (10- und 90%-Perzentile).

Wirkung des Vorhabens in die Bündnisregion

Die innerhalb von ArtIGROW entwickelte Datenanalyseplattform/-pipeline für die Präzisionslandwirtschaft soll ein hochaufgelöstes Monitoring auf Feldebene ermöglichen und darauf aufbauend pflanzenspezifische Handlungsempfehlungen liefern. Ziel ist die Optimierung zentraler ökonomischer und ökologischer Faktoren, wie ein nachhaltiges Düngemanagement und realistische Ertragserwartungen.

Langfristig soll die Plattform zu einem zentralen Informations- und Entscheidungsunterstützungssystem für Landwirt*innen in der Region östliches Mecklenburg-Vorpommern werden und ihnen damit einen wichtigen Standortvorteil verschaffen. Damit leistet ArtIGROW einen entscheidenden Beitrag zum geplanten Innovationscluster in dieser Region.

Perspektivisch verfolgt ArtIGROW die Entwicklung eines Ansatzes, der zu folgenden Ergebnissen führen soll:

- Steigerung der Ernteerträge,
- Verbesserung von Pflanzengesundheit und Produktqualität durch optimiertes Düngemanagement,
- Nachhaltigere Landwirtschaft durch effizientere Steuerung von Düngung und Bodenbearbeitung in sensiblen Wachstumsphasen sowie Reduzierung der Eutrophierung (sowohl von der unmittelbaren Umgebung als auch der Ostsee),
- Stärkung der Resilienz des Agrarsektors gegenüber den Folgen des Klimawandels durch die Einbindung lokaler, mittel- und langfristiger Wetterprognosen in prädiktive biomathematische Wachstumsmodelle,
- Monitoring und potentiell begrenzte Steuerung des Pflanzen- und Wurzelwachstums von der Aussaat bis zur Ernte,
- Förderung der Wettbewerbsfähigkeit regionaler IT-Unternehmen,
- Verbesserung der Verhandlungsposition von Landwirt*innen gegenüber Versicherungen und Finanzinstituten durch die Bereitstellung erweiterter Informationen zu Risiken, Erträgen und Boden-degradation.

Einbindung des ArtIFARM-Netzwerkes und Verstetigung der Ergebnisse

Im Rahmen des ArtIFARM-Verbundes beschäftigen sich mehrere Projekte mit der Erfassung, Sammlung und algorithmischen Auswertung (u. a. mittels Künstlicher Intelligenz) landwirtschaftlicher Daten. ArtIGROW strebt vor allem Zusammenarbeit mit den Vorhaben BData4AF und Ambrosia an.

BData4AF dient als Starterprojekt und verfolgt das Ziel, alle im Bündnis entstehenden strukturierten und unstrukturierten Daten in einem Data Lake zu erfassen, zu verarbeiten, zu speichern und mithilfe von Data-Science-Methoden für die Partner nutzbar zu machen. Die Wurzelscans und Ergebnisse von ArtIGROW sollen perspektivisch systematisch in diese Datenbasis integriert werden.

Innerhalb des Projekts AMBROSIA wird eine operative Prozesskette entwickelt, die Daten mithilfe von KI-Algorithmen analysiert, auswertet und simuliert. Ziel ist die weltweite, standortbezogene Modellierung und Prognose von Biomasse und Erträgen. Dafür werden insbesondere Satellitendaten eingesetzt, um biophysikalische Parameter in verschiedenen Wachstumsstadien präziser zu prognostizieren, Fruchtfolgen und Anbauflächen standortoptimiert anzupassen, Minderertragsflächen zu identifizieren, sowie über- und regionale landwirtschaftliche Anbauarten abzuleiten. Während Ambrosia eher globale Zusammenhänge auf regionaler Ebene betrachtet, ermöglicht ArtIGROW die Ableitung pflanzentypischer und lokaler Wachstumsabhängigkeiten. Durch die Kombination der Projektergebnisse innerhalb des BData4AF-Systems entsteht perspektivisch die Grundlage für zusätzliche Services aus dem Data Lake. So wurde beispielsweise ein Ensemble-Modell, das die Ertragsprognosen von ArtIGROW und Ambrosia zusammenführt, diskutiert.

Besonderes Interesse gilt auch den automatisierten Minirhizotronen. Ihr Mehrwert liegt in der automatisierten Bilddatenerhebung, die ohne physische Präsenz vor Ort möglich ist. Insbesondere bei den Botaniker*innen der Universität Greifswald sollen im Projekt WETSCAPES2.0 bis zu 30 dieser Systeme eingesetzt werden.

*ArtIGROW ist ein Vorhaben des WIR!-Bündnisses "ArtIFARM – Artificial Intelligence in Farming". Die Autor*innen danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (FKZ: 03WIR4805) für die finanzielle Unterstützung.*

AI-Biome

Schaderregerfrüherkennung mit AI und NGS¹

Thomas Sura, Tomas Kudlacek, Eileen Mertens, Fabian Billenkamp, Andreas Kuß, Katharina Hoff

Ausgangslage und Ziel des Vorhabens

Im Projekt AI-Biome arbeiten wir daran, die Digitalisierung und Diagnostik in der Betreuung von Rinderbetrieben durch den Einsatz moderner Sequenziermethoden (NGS) und künstlicher Intelligenz (KI) im Bereich der Bioinformatik zu verbessern. Unser Ziel ist die Entwicklung neuer Verfahren, die die Wirtschaft in der Innovationsregion stärken.

Die Firma SensID GmbH wird von den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen bei der Entwicklung geeigneten Referenzmaterials profitieren.

Unsere Vision ist es, das Tierwohl durch ein engmaschiges und leicht umsetzbares Screening auf Krankheitserreger zu fördern. Die rechtzeitige Erkennung dieser Erreger soll Schäden für Mensch, Tier und Betriebe verhindern. Dabei setzen wir gezielt auf moderne Technologien.

Das Team

Unser Projekt wird in drei Teilprojekten durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt finanziert und von weiteren Partner*innen maßgeblich unterstützt:

Das Teilprojekt "Entwicklung AI-basierter Software zur Untersuchung von Tierbeständen" (im Folgenden als Teilprojekt "AI" bezeichnet) wird von PD Dr. Katharina Hoff (Universität Greifswald) geleitet. Unser wissenschaftlicher Mitarbeiter Tomas Kudlacek arbeitet an der Entwicklung der AI-basierten Software und unterstützt die bioinformatische Auswertung der generierten NGS-Daten.

Im Teilprojekt "Entwicklung einer methodischen Strategie zur Schaderregerfrüherkennung mittels Next Generation Sequencing" untersuchen wir, welche Probenentnahme- und -aufbereitungsverfahren sich am besten zur Generierung von NGS-Daten zur Pathogendetektion eignen. Dieses Projekt wird von Prof. Dr. Andreas Kuß (Universitätsmedizin Greifswald) geleitet und praktisch durch unseren wissenschaftlichen Mitarbeiter Dr. Thomas Sura umgesetzt.

Das Teilprojekt „Entwicklung AI-basierter Software zur Untersuchung von Tierbeständen“ (im Folgenden als Teilprojekt „SensID“ bezeichnet) wird von Björn Nowack (SensID GmbH) geleitet. Seine zentrale Aufgabe besteht darin sicherzustellen, dass alle Entwicklungen in unserem Projekt auf eine potenzielle spätere wirtschaftliche Verwertbarkeit, beispielsweise im Bereich der Bereitstellung von diagnostischem Referenzmaterial, ausgerichtet sind. In diesem Bereich ist unsere Projektmitarbeiterin Dr. Eileen Mertens tätig.

Eine weitere wichtige Unterstützerin unseres Projekts ist die Rinderzucht Augustin KG aus Kemnitz. Dort führen wir Probenentnahmen durch und werden im weiteren Projektverlauf zur Überprüfung der Praxistauglichkeit in den Dialog treten. Zusätzlich beproben wir derzeit den Biobauern Knauer, was einen wesentlichen Bestandteil unseres Projekts darstellt, da wir nun zwei Rinderbetriebe mit unterschiedlicher Haltungsform einbeziehen können.

¹ Der Kurztitel des Vorhabens ist "AI-Biome": A = Artificial, I = Intelligence, Biome steht in unserem Projekt für "eine mikrobiologische Gemeinschaft, die auf dem Rinderstallboden oder im Enddarm von Rindern lebt". Die Abkürzung NGS steht für "Next Generation Sequencing", also für moderne Verfahren zur Sequenzierung von Erbgutmaterial.

Eine zentrale Rolle in unserem Projekt spielt Dr. Fabian Billenkamp vom Friedrich-Loeffler-Institut Braunschweig. Als führender Experte auf dem Gebiet der Mikrobiomanalyse bei Nutztieren berät er uns kontinuierlich bei der Konzeption und Auswertung unserer mikrobiologischen Untersuchungen und stellt wertvolles Probenmaterial zur Verfügung. Sein Beitrag ist für den wissenschaftlichen Erfolg des Projekts von entscheidender Bedeutung.

Darüber hinaus stehen wir weiterhin im fachlichen Austausch mit der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Christina Hölzel (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), die uns bei Bedarf aus veterinärmedizinischer Sicht berät. Prof. Dr. Katharina Schaufler unterstützt insbesondere das Teilprojekt „AI“ bei der Identifikation von Pathogenen. Zudem zählt Prof. Dr. Mario Stanke, ein international renommierter Experte für Maschinelles Lernen von der Universität Greifswald, zu unseren geschätzten Partnern.

Aktueller Arbeitsstand im Vorhaben

Im vergangenen Projektjahr konnten wir die regelmäßige monatliche Beprobung der beiden Betriebe Rinderzucht Augustin (Kemnitz) und Biobauer Knauer (Groß Petershagen) erfolgreich fortsetzen. Parallel dazu wurde am Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) die geplante Einzeltier sowie Stallbodenbeprobung abgeschlossen. Abbildung 1 zeigt den Versuchsstall am Friedrich-Loeffler-Institut und das dortige Reinigungssystem. Das gesammelte Probenmaterial bildet nun die Grundlage für die abschließende NGS-Analytik und den Vergleich der verschiedenen Sequenzierverfahren.

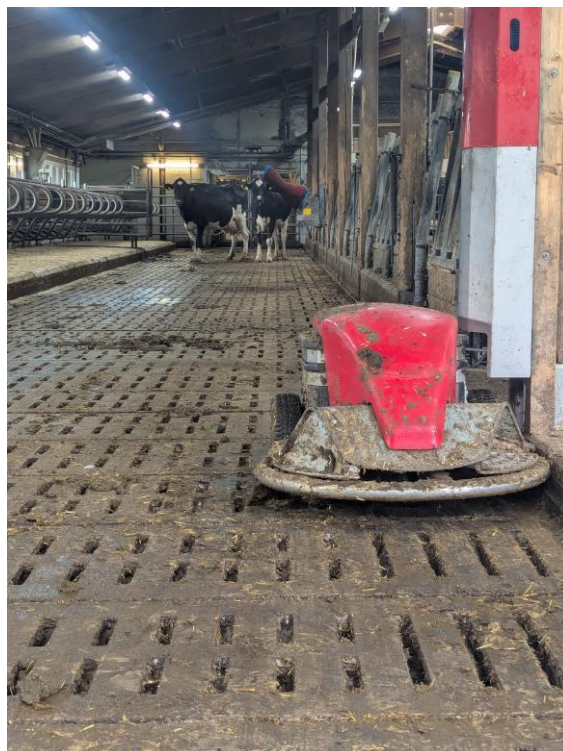


Abb. 1: Versuchsstall des Friedrich-Loeffler-Instituts in Braunschweig mit automatischem Spaltenroboter. Einzeltierprobenmaterial und Proben vom Spaltenroboter wurden entnommen, um herauszufinden, ob wir relevante Organismen aus dem Enddarm der Kühe auch am Spaltenroboter detektieren können. (Foto: Dr. Fabian Billenkamp)

Derzeit konzentrieren wir uns auf die Auswertung der erzeugten NGS-Daten und die Entwicklung einer quantitativen Auswertungsstrategie, die eine belastbare Bewertung der Erregerhäufigkeiten und mikrobiellen Zusammensetzungen in den Stallproben ermöglichen soll.

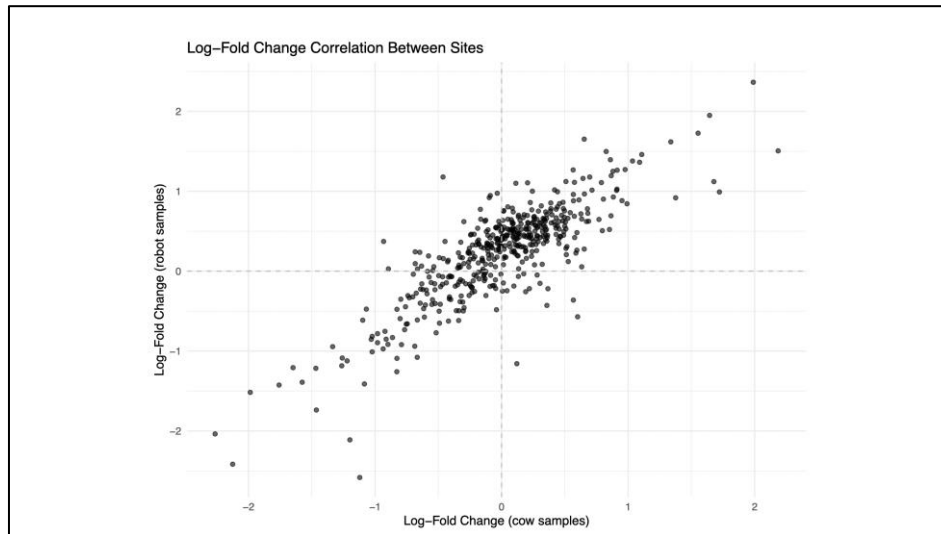


Abb. 2: Initiale Ergebnisse der Auswertung von Einzeltierproben und Roboterproben des Versuchsstalls am Friedrich-Loeffler-Institut. Aufgetragen sind die Differenz in der relativen Abundanz von detektierten Bakterien zwischen aus den Roboterproben auf der Y-Achse und aus den Einzeltierproben auf der X-Achse. Die hier gezeigten Ergebnisse basieren auf der Software *epi2me*, welche wir in Zukunft durch die besser geeignete Software *Dadasnake* [1] oder *BaNaNA* [2] ersetzen werden.

Exemplarisch zeigt Abbildung 2 einen deutlich erkennbaren Zusammenhang zwischen der Abundanz von Bakterien in Roboter- und Einzeltierproben im Versuchsstall des Friedrich-Loeffler-Instituts. Wir werden insbesondere auch prüfen, wie sich Ergebnisse aus Illumina-Short-Read- und Oxford-Nanopore-Long-Read-Daten methodisch integrieren lassen. Hierfür haben wir die Ergebnisse der Stallbodenmikrobiom-Sequenzierung mit der Illumina-Technologie initial analysiert und festgestellt, dass eine substantielle Sequenzierungstiefe notwendig ist, um bestimmte Spezies nachweisen zu können (siehe Abbildung 3).

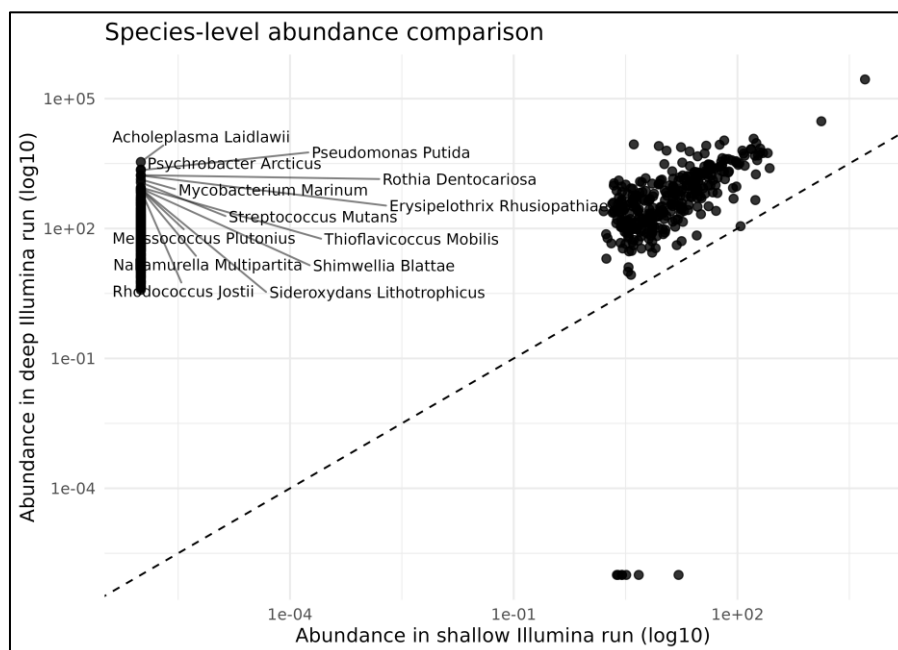


Abb. 3: Vergleich zweier Illumina-Sequenzierläufe verschiedener Sequenzierstiefe des Stallbodenmikrobioms. Der initiale Sequenzierlauf (shallow Illumina run) mit ca. 12 Millionen Reads erlaubte die Auflösung bestimmter Spezies nicht. Dies konnte durch eine Erhöhung der Sequenzierstiefe auf ca. 300 Millionen Reads (deep Illumina run) verbessert werden. Die Analyse der Daten erfolgte mit der Software *Metaphor* [3].

Die Arbeiten an der AI-basierten Auswertungssoftware verzögerten sich aufgrund einer krankheitsbedingten Abwesenheit unseres Mitarbeiters Tomas Kudlacek. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Entwicklung der Software im kommenden Projektabschnitt wieder planmäßig voranschreiten kann. Der Fokus liegt nun auf der Integration der quantitativen Analysefunktionen und der Vorbereitung des Wissenstransfers an die SensID GmbH sowie an die wissenschaftliche Community über ein öffentlich zugängliches Code-Repository.

Insgesamt befinden wir uns somit in der abschließenden Phase der Datenauswertung und Softwareentwicklung. Erste Erkenntnisse zur Praxistauglichkeit der Probenentnahme- und Sequenzierverfahren liegen bereits vor, und wir erwarten, die geplanten Meilensteine zu Machbarkeit und Wissenstransfer im weiteren Verlauf des kommenden Jahres erreichen zu können.

Bisher erreichte Ergebnisse

Bisher stehen uns folgende biologische Sequenzdaten und Software-Ergebnisse zur Verfügung:

- Verarbeitete und analysierte 16S rRNA ONT-Amplikon-Sequenzen und Illumina-WGS-Sequenzen der Rinderzucht Augustin aus dem Winter 2023/2024
- 16S rRNA ONT- und Illumina-WGS-Sequenz-Rohdaten der Rinderzucht Augustin aus dem Jahr 2024
- 16S rRNA ONT-Sequenz-Rohdaten zur Ermittlung der Detektionsgrenze von Referenzpathogenen
- Software zur Loci- und Primer-Identifikation (<https://github.com/AI-Biome/AI-Biome>)

Seit dem letzten Bericht wurde die Software hinsichtlich der Laufzeit verbessert und es wurden zusätzlich folgende Datensätze und Referenzmaterialien generiert oder eingearbeitet:

- ONT-16S-Sequenzdaten der Einzeltiere und Stallbodenproben des Friedrich-Loeffler-Instituts
- Illumina-NextSeq-1000-Sequenzdaten für Innen- und Außenbereiche beider Betriebe (Rinderzucht Augustin und Biobauer Knauer, mehr Sequenziertiefe als in den ersten Illumina-Versuchen)
- ONT-Datensätze aus einem Diversitätsexperiment, einer Verdünnungsreihe und dem Zymo Human Fecal Reference Standard

Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die aktuelle NGS-Datenauswertung und die Entwicklung der quantitativen Analysefunktionen in der AI-basierten Auswertungssoftware.

Wirkung des Vorhabens in die Bündnisregion

Die Verwertung der Projektergebnisse ist für die SensID GmbH wirtschaftlich relevant, da das Unternehmen damit seine Expertise vom Human- auf den Veterinärbereich ausweiten kann, insbesondere im Hinblick auf den wachsenden Bedarf an Referenzmaterialien und deren Herstellung. Das Projekt stärkt die internationale Sichtbarkeit unserer Region in der Anwendung von NGS und KI im veterinärmedizinischen Kontext sowie in der Betreuung landwirtschaftlicher Betriebe. Die im Rahmen von AI-Biome entwickelten Softwaremodule werden öffentlich zugänglich gemacht, beispielsweise über GitHub. PI Hoff und Co-PI Stanke haben bereits erfolgreich Open-Source-Software wie AUGUSTUS entwickelt, die kommerziell genutzt wird. Wir gehen davon aus, dass auch die AI-Software von Unternehmen wie SensID ab etwa 2027 kommerziell eingesetzt wird. Eine Ausgründung auf Basis dieser Software ist bis 2030 denkbar.

Einbindung des ArtIFARM-Netzwerkes und Verstetigung der Ergebnisse

Wir verstehen uns als ein Projekt, das offen für die Zusammenarbeit mit weiteren Kooperationspartner*innen ist. Besonders geeignet erscheint eine enge Kooperation in den Bereichen Künstliche Intelligenz zur Analyse biologischer Sequenzdaten sowie allgemein im Bereich des Next Generation

Sequencing. Langfristig wäre auch eine Zusammenarbeit im Bereich Robotik oder Drohnentechnologie zur Probenentnahme denkbar.

Um Synergien zu nutzen und die Datenbasis zu optimieren, ist geplant, den wissenschaftlichen Austausch mit der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Dr. Lisa Bachmann (Hochschule Neubrandenburg) zu intensivieren.

Diese Zusammenarbeit, die ursprünglich über das Landesexzellenzprojekt „Alg4Nut“ initiiert wurde, ist besonders relevant, da Frau Prof. Dr. Bachmann im Rahmen eines separaten Forschungsprojekts ebenfalls den Stall der Rinderzucht Augustin KG beprobt und sich dabei auf die Identifizierung toxinbildender Bakterien konzentriert.

Durch diese parallele Beprobung am selben Standort können wir einen wertvollen Austausch von Daten und Ergebnissen realisieren, was den Umfang und die Aussagekraft unserer jeweiligen Forschungsvorhaben deutlich erhöht.

Für die nachhaltige Verstetigung der Projektergebnisse sind Mittel erforderlich, um den bestehenden Demonstrator zu einem Prototypen und schließlich zu einem marktreifen Produkt weiterzuentwickeln. Im Hinblick auf eine mögliche Ausgründung im Bereich Software-Services wird zudem Expertise in Betriebswirtschaft und Marketing benötigt, die aktuell nicht innerhalb des Projekts abgedeckt ist.

Literaturverzeichnis

[1] Weißbecker, C., Schnabel, B., & Heintz-Buschart, A. (2020). Dadasnake, a Snakemake implementation of DADA2 to process amplicon sequencing data for microbial ecology. *GigaScience*, 9(12), g1aa135.

[2] Chwalińska, M., Karlicki, M., Romac, S., Not, F., & Karnkowska, A. (2025). From short to long reads: enhanced protist diversity profiling via Nanopore metabarcoding. *bioRxiv*, 2025-06.

[3] Salazar, V. W., Shaban, B., Quiroga, M. D. M., Turnbull, R., Tescari, E., Rossetto Marcelino, V., ... & Lê Cao, K. A. (2023). Metaphor—a workflow for streamlined assembly and binning of metagenomes. *GigaScience*, 12, giad055.

AI-Biome ist ein Vorhaben des WIR!-Bündnisses "ArtIFARM – Artificial Intelligence in Farming". Die Autoren danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (FKZ: 03WIR4806) für die finanzielle Unterstützung.

ArtI_ADOPT

Adoption digitaler Innovationen in der ArtIFARM-Bündnisregion

Annalena Schulz, Holger Türr

Ausgangslage und Ziele des Vorhabens, Vorgehensmodell und Team

Damit der von ArtIFARM angestrebte innovationsbasierte Strukturwandel herbeigeführt werden kann, stehen die Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bündnisses vor der Herausforderung die entwickelten Innovationen nachhaltig am Markt für landwirtschaftliche Technologien zu etablieren. Um die Bündnispartner*innen bei dieser Aufgabe zu unterstützen, verfolgt das Vorhaben ArtI_ADOPT das Ziel, die Prozesse bei der Adoption von Innovationen und beim Eintritt in den Markt für Agrartechnologien umfassend zu verstehen und auf diesem Verständnis aufbauend Handlungsempfehlungen für den Eintritt in den Markt für Agrartechnologien abzuleiten. Diese können dann von den Forschungs- und Industriepartnern im Bündnis zielgerichtet für deren individuellen Markteintritt genutzt werden.

Um das Ziel des Vorhabens zu erreichen, werden zwei Perspektiven, nämlich die von Technologienachfragern einerseits und die von Technologieanbietern andererseits, eingenommen: Damit die entwickelten Technologien wirtschaftlich erfolgreich sind, müssen diese von der Zielgruppe, also den Landwirt*innen der ArtIFARM-Bündnisregion, akzeptiert und angewendet werden. Im Vorhaben wird deshalb untersucht, wie die Entscheidungsprozesse bei der Adoption von Innovationen ablaufen. Dabei werden Besonderheiten von Innovationen im Agrartechnikmarkt und spezifische Akzeptanzhemmnisse bei der Einführung digitaler Technologien berücksichtigt. Die Perspektive von Technologieanbietern wird im Vorhaben adressiert, indem die Besonderheiten und Problemlagen von Start-ups beim Eintritt in den Markt für Agrartechnologien identifiziert sowie die Strategien zum Umgang der Start-ups mit diesen Herausforderungen analysiert werden. Die Ergebnisse beider Perspektiven werden genutzt, um Handlungsempfehlungen für die Bündnispartner beim Eintritt in den Markt für Agrartechnologien abzuleiten (vgl. Schulz und Türr 2023: 28–32).

Das Team

Das Vorhaben ArtI_ADOPT wird an der Fakultät für Maschinenbau der Hochschule Stralsund unter der Leitung von Prof. Dr. Holger Türr (Lehrgebiet Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Rechnungswesen und Controlling) durchgeführt. Aufgrund der tendenziell übergeordneten Fragestellungen, die das Vorhaben bearbeitet, wird es in enger Abstimmung mit den Kolleg*innen des ArtIFARM-Innovationsmanagements und der ArtIFARM-Strategieentwicklung durchgeführt.

Aktueller Arbeitsstand im Vorhaben und bisher erreichte Ergebnisse

Die Aktivitäten im Vorhaben ArtI_ADOPT konzentrieren sich auf vier aufeinander aufbauende Aspekte:

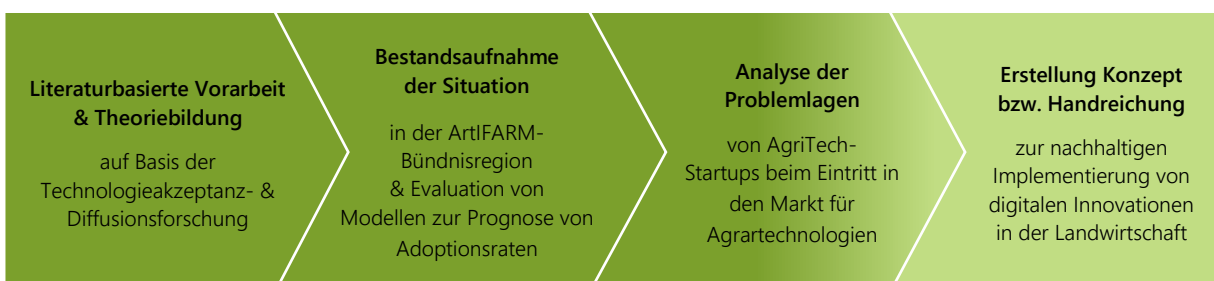


Abb. 1: Aktueller Arbeitsstand des Vorhabens ArtI_ADOPT

Die ersten zwei Schritte zielen auf das Verständnis der Technologieadoptionsprozesse auf Seiten der Innovationsnachfrager ab. Hierzu existiert grundsätzlich bereits ein umfassendes Verständnis im Rahmen der Technologieakzeptanz- bzw. Diffusionsforschung. So bestehen bereits verschiedene Modelle zur Erklärung von Adoptionsprozessen und deren Einflussgrößen. Um einen Überblick über diese zu erhalten, wurden im Vorhaben Modelle wie zum Beispiel das *Technology Acceptance Model* von Davis (1985) und die Diffusionstheorie nach Rogers (2003) zur Darstellung von Akzeptanz- und Diffusionsprozessen oder das *Adoption and Diffusion Outcome Prediction Tool* nach Kuehne et al. (2011, 2017) zur Prognose von Adoptionsraten systematisch evaluiert. Außerdem konnten im Rahmen einer strukturierter Literaturrecherche verschiedenste Hemmnisse für die Adoption digitaler Technologien in landwirtschaftlichen Betrieben identifiziert und, wie in Abbildung 2 ersichtlich, kategorisiert werden. Im Ergebnis liegt dem Vorhaben ein umfassendes Verständnis des komplexen Geflechts akzeptanzfördernder und -hemmender Einflussfaktoren auf die Technologieakzeptanz vor. Aus diesen Einflussfaktoren und deren Wirken auf die Adoption von digitalen Technologien in der Landwirtschaft konnten Implikationen für die Einführung von ebensolchen Technologien für die Bereiche Ideenfindung und technische Umsetzung, Markteinführung und externe Rahmenbedingungen abgeleitet werden.

Individuelle Charakteristiken	Betriebliche Charakteristiken	Soziale Faktoren	Finanzielle Faktoren	Technische Faktoren
<ul style="list-style-type: none"> • formen persönliche Entscheidungsbasis von Landwirt*innen • z.B. soziodemografische Merkmale, persönliche Qualifikation, Einstellung 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenschaften von landwirtschaftlichen Betrieben • z.B. betriebliche Merkmale: Größe, Verfügbarkeit von Arbeitskräften 	<ul style="list-style-type: none"> • beziehen sich auf das soziale Umfeld von Landwirt*innen und ihren Betrieben • z.B. Informationsfluss & Kommunikation mit Branchenteilnehmern 	<ul style="list-style-type: none"> • betreffen finanzielle Aspekte der Adoption • z.B. mit Nutzung der Technologie verbundene Kosten, Zugang zu finanziellen Mitteln 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsweise und technische Merkmale digitaler Technologien • z.B. Technologiereife, Abhängigkeiten, Datenmanagement

Abb. 2: Kategoriensystem der identifizierten Einflussfaktoren auf die Akzeptanz digitaler Technologien in der Landwirtschaft (eigene Darstellung)

Auf Basis dieser Vorarbeiten wurde im zweiten Schritt eine qualitative Interviewstudie zu den konkreten Entscheidungsprozessen von Landwirten ausgearbeitet und durchgeführt. Da vor allem über die Natur der sozialen Faktoren vergleichsweise wenig bekannt ist, obwohl ihnen in der Akzeptanz- und Diffusionsforschung eine zentrale Bedeutung für die Adoption neuer Technologien zugeschrieben wird, diente diese Interviewstudie insbesondere dazu, zu untersuchen welche Informationsquellen Landwirt*innen vor oder während der Entscheidungsfindung konsultieren. Hierzu wurden 15 Betriebsleiter*innen aus dem ArtIFARM-Bündnis bzw. der Bündnisregion interviewt. Auf diese Weise konnte ein differenzierter Überblick darüber gewonnen werden, welche Informationsquellen zu welchen Zeitpunkten im Adoptionsentscheidungsprozess herangezogen werden und in welchem Umfang diese die Entscheidungsfindung beeinflussen. Aus den Ergebnissen ergaben sich weitere Implikationen für die Gestaltung der Markteinführung und insbesondere für die gezielte Publikmachung von Innovationen.

Medien	Personen und Institutionen	Veranstaltungen
<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikationsmittel, die Informationen, Nachrichten, Bilder oder Unterhaltung verbreiten • z.B. Zeitungen, (Fach-) Zeitschriften, Produktkataloge, Social Media 	<ul style="list-style-type: none"> • Menschen oder Organisationen, die Informationen austauschen oder aufbereiten und gezielt verbreiten • z.B. Landwirt*innen, Freund*innen, Beratungen, Verbände, Hochschulen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ereignisse, die den Rahmen bieten Informationen auszutauschen, zu vermitteln oder zu diskutieren • z.B. Messen, Feldtage, Tagungen, Vorfürungen, Workshops

Abb. 3: Beispielhafte Darstellung der identifizierten Informationsmittel bei der Entscheidungsfindung (eigene Darstellung)

Im Anschluss an die Arbeiten zur Untersuchung der Adoptionsentscheidungen landwirtschaftlicher Akteur*innen wurde der Fokus im Vorhaben auf die Prozesse auf Seiten der Technologieanbietenden und Start-ups im AgriTech-Sektor gelegt. Auch hier wurden die Problemlagen, welche beim Eintritt in den Markt für Agrartechnologien entstehen können, zunächst im Rahmen einer theoretischen Vorrecherche erfasst und kategorisiert. Die in Abbildung 4 gezeigte Kategorisierung von Markteintrittsbarrieren weist einige Parallelen zur in Abbildung 2 gezeigten Kategorisierung der Akzeptanzhemmnisse auf. Dies lässt sich damit begründen, dass beide Herangehensweisen zwar verschiedene Blickwinkel einnehmen, jedoch denselben Markt, den digitaler Agrartechnologien, adressieren und so ähnliche Charakteristiken von ebendiesem beobachten können. Da eine geringe Akzeptanz die Realisierung eines erfolgreichen Markteintritts erheblich erschwert, wirken Akzeptanzhemmnisse als indirekte Markteintrittsbarrieren. Beide Sichtweisen sind insoweit unmittelbar miteinander verknüpft.

Branchen- & Marktbezogene Barrieren	Wettbewerbs- & Netzwerkbarrieren	Politische & Regulatorische Barrieren	Finanzielle Barrieren	Technische Barrieren
<ul style="list-style-type: none"> • bestehende Merkmale und Besonderheiten innerhalb der Branche • z.B. Zielgruppe, etablierte Lieferketten, Reputation 	<ul style="list-style-type: none"> • bestehende soziale und geschäftliche Strukturen und Faktoren im Marktumfeld • z.B. etablierte Anbieter, Kundenbindung, Kooperationen 	<ul style="list-style-type: none"> • entstehen durch Gesetze, Vorschriften oder politische Entscheidungen • z.B. gesetzliche Auflagen, Genehmigungsprozesse, Subventionen 	<ul style="list-style-type: none"> • betreffen finanzielle Aspekte des Markteintrittes • z.B. Entwicklungskosten, Startkapitalanforderungen, Zugang zu finanziellen Mitteln 	<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Funktionsweise und technische Merkmale der entwickelten Technologien • z.B. Reife, Konnektivität, Wartungsintensität

Abb. 4: Vorläufiges Kategoriensystem der identifizierten Markteintrittsbarrieren für Start-ups im AgriTech-Markt

Auf die Vorbetrachtungen aufbauend wurden qualitative Interviews konzipiert, in denen die Sichtweise von Start-up-Gründern zu relevanten Markteintrittsbarrieren im AgriTech-Sektor und möglichen Strategien zu deren Bewältigung erhoben werden. Nach der Durchführung und Auswertung der Interviews sollen aus der Gesamtheit der abgeleiteten Implikationen für das ArtIFARM-Bündnis und seine Partner*innen Handreichungen zur nachhaltigen Implementierung von digitalen Innovationen in der Landwirtschaft in der ArtIFARM-Bündnisregion formuliert werden. Diese Handlungsempfehlungen und Strategien sollen die Bündnismitglieder auf mögliche Hindernisse aufmerksam machen und sie unterstützen das dadurch entstehende Risiko zu senken oder ganz zu vermeiden.

Wirkung des Vorhabens in die Bündnisregion

Das Ziel des Vorhabens ist die systematische Erfassung der besonderen Herausforderungen des AgriTech-Sektors und die praxisorientierte Entwicklung von Lösungsansätzen für die Etablierung neuer Technologien, insbesondere in der Bündnisregion. Die Ergebnisse aus ArtI_ADOPT dienen insgesamt dazu, die Expertise des ArtIFARM-Bündnisses in den Bereichen der Innovations- und Technologieakzeptanzprozesse sowie des Markteintritts von Start-ups auszubauen. Auf diese Weise unterstützt ArtI_ADOPT den Transfer zukunftsweisender Technologien in die landwirtschaftliche Praxis und leistet so einen nachhaltigen Beitrag zur Stärkung des regionalen Innovationsökosystems.

Einbindung des ArtIFARM-Netzwerkes und Verstetigung der Ergebnisse

Das Vorhaben baut an verschiedenen Stellen Bezüge zum ArtIFARM-Netzwerk und seinen Akteur*innen auf. Durch qualitative Interviews konnten insbesondere die landwirtschaftlichen Partner*innen mit ihren Erfahrungen und Einschätzungen zur Untersuchung und Bewertung von Innovationsprozessen in der Bündnisregion beitragen. Im Rahmen der Durchführung weiterer Interviews werden außerdem die

an Vorhaben beteiligten Partner*innen und Start-ups des ArtIFARM-Bündnisses in die Untersuchungen einbezogen. Darüber hinaus konnte das Vorhaben durch die gezielte Ansprache externer Landwirt*innen aus der Region neue Mitglieder für das Bündnis gewinnen und so die Netzwerkstruktur weiter stärken.

Enge Anknüpfungspunkte bestehen zudem zum ArtIFARM-Management und zur Strategieentwicklung im Vorhaben ArtISTRAT. Die Ergebnisse der Analysen von Technologieanbietern und Technologieabnehmern können unmittelbar im Bündnis genutzt werden, indem sie die Arbeiten im Bündnis unterstützen und die Verwertungsperspektiven für etablierte Technologieanbieter und Start-ups verbessern. Außerdem werden die erarbeiteten Erkenntnisse in Überlegungen zur langfristigen Bündnisentwicklung integriert und perspektivisch im Folgeprojekt der Strategieentwicklung ArtIConnect aufgegriffen. Dort dienen sie als Basis für weiterführende Untersuchungen der Markteintrittswege für AgriTech-Start-ups und werden gezielt in die Strategie zur nachhaltigen Verstetigung des ArtIFARM-Bündnisses eingebracht.

Literaturverzeichnis

Davis, Fred D. (1985): A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: theory and results: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: theory and results, Massachusetts.

Kuehne, Geoff; Llewellyn, Rick; Pannell, David J.; u. a. (2017): Predicting Farmer Uptake of New Agricultural Practices: A Tool for Research, Extension and policy, in: *Agricultural Systems*, Jg. 156, S. 115–125, doi: 10.1016/j.agsy.2017.06.007.

Kuehne, Geoff; Llewellyn, Rick s.; Pannell, David J.; u. a. (2011): ADOPT: a tool for predicting adoption of agricultural innovations, in: Melbourne, Victoria.

Rogers, Everett M. (2003): *Diffusion of Innovations*, 5. Auflage, New York; London; Toronto; Sydney: Free Press.

Schulz, Annalena; Türr, Holger (2023): ArtI_ADOPT - Adoption digitaler Innovationen in der ArtIFARM-Bündnisregion, in: *ArtIFARM Status-Report 2023*, Greifswald, S. 28–33.

*ArtI_ADOPT ist ein Vorhaben des WIR!-Bündnisses "ArtIFARM – Artificial Intelligence in Farming". Die Autor*innen danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (FKZ: 03WIR4811) für die finanzielle Unterstützung.*

AMBROSIA

Automatisches Monitoring von landwirtschaftlichen Beständen zur Ressourcenoptimierung mittels operativer Satellitendaten und intelligenter Auswertemethoden

Lars Fricke, Veronika Shvets, Norman Rauthe, Hauke Hoppe, Frank Czarnikow, Wilderich Freiherr von Maltzahn, Erik Borg, Tobias Hillmann

Kurzbeschreibung des Vorhabens

Im Projekt soll die Kombination von satellitengestützten Fernerkundungs- und georeferenzierten Zusatzdaten zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und der Gestaltung nachhaltiger Prozesse in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion und damit in Verbindung stehender Informationsprodukte genutzt werden.

Dabei wurden die folgenden Lösungsansätze in den Mittelpunkt gestellt:

- Prognose des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) zu verschiedenen Wachstumsstadien unter Verwendung von Datenzeitreihen aus Satellitendaten und weiterer umfangreicher Sensorik
- Darauf beruhend Vorhersage der Wachstumsentwicklung, Biomasse, Ertragsbildung u.a.
- Online-Karten unterschiedlichen Ertragspotentials als Entscheidungshilfe für den Einsatz von Agrochemikalien und anderen Maßnahmen
- Online-System zur Anfrage von Analysen durch den Landwirtschaftsbetrieb
- Vollautomatische Akquise und Prozessierung von Geodaten
- Vollautomatische KI-gestützte Prognose
- Identifizierung von Flächen mit Mindererträgen
- Landwirtschaftliche Anbauarten zur betrieblichen flächenhaften Planung von Betriebsmitteln und Personaleinsatz als Baustein zur Optimierung des Betriebsergebnisses
- Ausbau der Nutzung satellitenbasierter Fernerkundungsdaten für die landwirtschaftliche Praxis

Die Prozessketten des Projekts AMBROSIA werden im Framework des ArtIFARM-Startervorhabens Big Data System für landwirtschaftliche Anwendungen - BData4AF - umgesetzt¹. Dabei fungiert AMBROSIA als dateneinlieferndes und datenziehendes System und nutzt Prozesstools so wie die Datenbasis des Big Data Systems. Dadurch werden die oben genannten Datenprodukte und Karten dem Data Lake hinzugefügt und stehen für weitere Anwendungen zur Verfügung.

Das Team

Im Projekt AMBROSIA arbeiten eine Hochschule, zwei Forschungseinrichtungen, ein Software-Unternehmen und ein landwirtschaftlicher Betrieb interdisziplinär zusammen.

Die Hochschule Neubrandenburg (Prof. Dr.-Ing. Tobias Hillmann, Lars Fricke, Veronika Shvets, Norman Rauthe) als Verbundvorhabenkoordinator setzt mittels der Big Data Tools und der Data Lake-Infrastruktur aus dem Projekt BData4AF die Prozesskette und die Speicherstruktur für Satelliten- und weitere georeferenzierte Quelldaten um. Ebenso wird die Front-End Kartenvisualisierung mit einem eigens entwickelten Online Tool umgesetzt.

Das Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD (Dr. Philipp Wree, Hauke Hoppe) entwickelt gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Prof. Dr. Erik Borg) eine neuartige Prozesskette zur Bereitstellung fusionierter Satellitendaten (Sentinel, Landsat, MODIS). Dabei

¹ Norman Rauthe, Maik Focke, Veronika Shvets, Mark Vehse, Tobias Hillmann (2024): Mit automatischer Luftbildprozessierung und KI im Data Lake zur Feldsteindetektion, Neubrandenburger Geosymposium 2024 (ISBN 978-3-941968-88-2)

werden Satellitendaten unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung mit Hilfe energetischer Betrachtungen harmonisiert und verschnitten. Die Rekonstruktion optischer Daten soll die z.B. durch Wolken maskierten Regionen mit realistischen Werten auffüllen. Die Ergebnisse dieser Entwicklung werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Die Daberkower Landhof AG (Wilderich Freiherr von Maltzahn) stellt schlagbezogene Ertrags- und Anbaudaten als Basis zur Erstellung von Trainingsdaten bereit.

Die data experts gmbh (Frank Czarnikow) berät zu möglichen Anwendungsszenarien und bewertet dazu die neuen Informationslayer.

Aktuelle Aktivitäten im Vorhaben

Zentraler Lösungsansatz zur Datenanalyse

In den vergangenen Jahren hat sich die Verwendung von KI-Modellen in den unterschiedlichsten Problemfeldern etabliert. Dabei ist die Auswahl des passenden Grundansatzes für eine erfolgreiche Modellierung essentiell. Um die zeitliche Entwicklung von Werten wie NDVI oder Ertrag zu prognostizieren, ist ein probabilistisches Modell erforderlich, darum wurde für die Umsetzung der Ziele in AMBROSIA ein Bayes'sches Modell entwickelt². Ein solches Modell lernt keine festgelegten Regeln, sondern arbeitet mit Wahrscheinlichkeiten für die betrachteten Variablen, einen Wert anzunehmen bzw. sich in einem Wertebereich zu bewegen. Die statistische Unsicherheit für verschiedene Parameter wird ebenso modelliert und gelernt, wie die grundsätzliche Unsicherheit, die von zu wenigen oder mangelhaften Daten ebenso wie von unbekanntem Einflussgrößen abhängt³.

Bei einem Bayes'schen Modell werden die Einflussgrößen und ihre Wirkung sowie die Streuung der Daten zunächst geschätzt (Prior-Erwartung). Anhand tatsächlicher Beobachtungen wird diese Schätzung sowohl der Werte als auch der Streuung aktualisiert (Posterior-Annahme). Während des Lernens werden mit immer neuen Stichproben aus der Datengesamtheit die Posterior-Annahmen konsolidiert.

Diesem Verfahren liegt das Bayes'sche Theorem zugrunde.

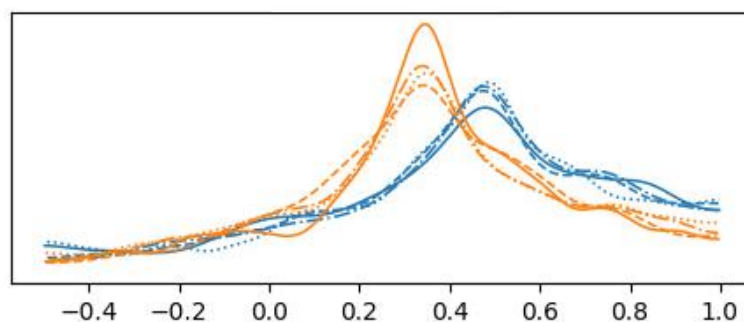


Abb. 1: Verteilungen von NDVI Werten je Frucht und Schlag in einem Satellitenbild (eigene Abbildung)

Wie in Abbildung 1 beispielhaft an der Verteilung des NDVI gezeigt, erhält man im Ergebnis den Zusammenhang von beobachteten Einflussparametern und Wirkung als Verteilung von Werten.

² Lars Fricke et al., "Bayes'sche Modellierung von raum- zeitbasierten hierarchischen Prozessen auf Basis von Fernerkundungsdaten und georeferenzierten Fachdaten," paper presented at 15. Norddeutsche Fachtage am 22. und 23. Mai 2025, Neubrandenburg, Mehr(wert) durch Koordinaten, Mai 22, 2025.

³ Zoubin Ghahramani, "Probabilistic Machine Learning and Artificial Intelligence," Nature 521 (2015): 452–59, <https://doi.org/10.1038/nature14541>.

Hierarchische Modellierung

Bayes'sche Modelle eignen sich besonders gut für hierarchische Zusammenhänge im Bereich des Pflanzenanbaus⁴. Wenn beispielsweise ein räumlicher Parameter „Zugehörigkeit zum Ackerschlag X“ die Eigenschaften aller Pixel dieses Schlags beeinflusst, so kann das Mittel des Erwartungswertes (μ) des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) für einen Pixel aus dem Mittel für den NDVI des Schlags abgeleitet werden².

Die NDVI-Verteilung eines Pixels basiert auf einer schlagbasierten Erwartung – diese dient als Prior-Information.

Durch pixelbasierte Beobachtungen kann das Modell eine eigene Unsicherheitskomponente σ_{Pixel} lernen, um Abweichungen vom Verhalten des gesamten Schlags zu modellieren.

Im Rahmen des ArtIFARM-Projektes AMBROSIA wird eine hierarchische Bayes'sche Modellierung verwendet, die im Folgenden näher beschrieben wird.

Hierarchische Modellierung in AMBROSIA

Im Projekt AMBROSIA wird unter anderem der Verlauf des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) auf den Ackerschlägen untersucht (Abbildung 2). Der NDVI erlaubt Rückschlüsse auf den Bewuchs⁵ und im weiteren Verlauf auch auf den zu erwartenden Ertrag.

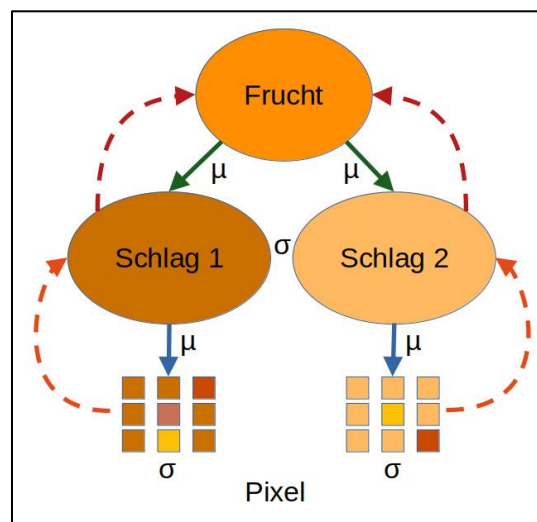


Abb. 2: hierarchische Struktur des Bayes'schen Modells (eigene Abbildung)

Für jede Feldfrucht wird ein erwarteter (mittlerer) $\text{NDVI}_{\text{Frucht}}$ ermittelt. Dieser Wert dient als Prior für die zur dieser Frucht zugeordneten Ackerschläge: $\mu_{\text{Schlag}} = \overline{\text{ndvi}}_{\text{Frucht}}$

Dazu lernt das Modell die Streuung σ_{Schlag} . Damit kann auch die individuelle Abweichung der einzelnen Schläge von der generellen Entwicklung der jeweiligen Frucht modelliert werden. Die konkrete Abweichung Δ_{Schlag} vom $\text{NDVI}_{\text{Frucht}}$ kann verwendet werden, um ein Abweichungsmaß einzuführen, dessen Wert gegebenenfalls durch Landwirt*innen fachlich bewertet werden kann.

⁴ Cornelius Senf et al., "A Bayesian Hierarchical Model for Estimating Spatial and Temporal Variation in Vegetation Phenology from Landsat Time Series," Remote Sensing of Environment, ahead of print, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.020>.

⁵ Emir Memic et al., "Combining a Crop Growth Model with Satellite Images to Get Better Insight in Wheat Growth," Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2024.

Analog wird für die einzelnen Pixel vorgegangen, $\mu_{\text{Pixel}} = \overline{\text{ndvi}}_{\text{Schlag}}$ wobei wiederum eine Streuung σ_{Pixel} gelernt wird, die die Abweichung von der erwarteten Entwicklung des NDVI je Schlag modelliert. Die Ergebnisse auf Pixel- bzw. Schlag-Ebene „informieren“ die jeweils höhere Ebene, wodurch das Modell in sich gekoppelt wird (Abbildung 3).

Auf dieser räumlichen und parametrischen (Fruchtart) Hierarchie baut ein raum-zeitliches Bayes'sches Modell auf, das sowohl die Entwicklung des NDVI auf Fruchtebene als auch auf Ebene der Ackerschläge und der einzelnen Pixel modelliert.

Um aus dem NDVI auf das Ertragspotential schließen zu können, sind weitere Schritte erforderlich. Diese Schritte werden später skizziert.

Management von Trainingsdaten

Um ein komplexes Bayes'sches Modell trainieren zu können, sind erhebliche Datenmengen erforderlich. Im Falle des Projektes AMBROSIA wird ein Modell mit insgesamt 26 Parametern je Pixel auf der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landes Mecklenburg-Vorpommern trainiert. Für die eigentlichen Ertragsanalysen stehen zwar nur vergleichsweise wenige Daten bzw. Ackerschläge über den Zeitraum von 2018 bis 2023 zur Verfügung, da aber zunächst der NDVI modelliert und prognostiziert werden soll, wird eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 1,34 Mio. Hektar in die Modellbildung und das Training einbezogen, die von rund 4.700 Betrieben bewirtschaftet wird⁶. Dadurch entsteht eine Datenmenge von 4-5 Terabyte an Bilddaten, die effizient und mit einem leistungsfähigen System gehandhabt werden müssen. Als Daten-Infrastruktur dient das Big Data System aus dem ArtiFARM-Startervorhabens BData4AF.

Quelldaten

In die Modellierung des Bayes'schen Netzwerks zur Bestimmung des NDVI fließt eine Vielzahl von frei verfügbaren Daten ein. Diese sind in der folgenden Tabelle als Übersicht dargestellt:

Datensatz	räumliche Auflösung	zeitliche Auflösung	Hinweis
B2 (490nm, Blau)	10m	5 Tage	Sentinel 2 (L2A), je Bewölkung
B3 (560nm, Grün)	10m	5 Tage	Sentinel 2 (L2A), je Bewölkung
B4 (665nm, Rot)	10m	5 Tage	Sentinel 2 (L2A), je Bewölkung
B8 (842nm, NIR)	10m	5 Tage	Sentinel 2 (L2A), je Bewölkung
WVP (Water Vapor)	10m	5 Tage	Sentinel 2 (L2A), je Bewölkung
Wolken-Wahrscheinlichkeit	20m	5 Tage	Sentinel 2 (L2A), resampled auf 10m
Bodenfeuchte 0-60cm Tiefe	1km	Mittelwert, Minimum, Maximum über 7 Tage	resampled auf 10m

⁶ ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern Ministerium für Klimaschutz Landwirtschaft, "Offizielle Website Zur Landwirtschaft," 2025, <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/Im/Landwirtschaft/Landwirtschaft>.

Bodenfeuchte 100-110cm Tiefe	1km	Mittelwert, Minimum, Maximum über 7 Tage	resampled auf 10m
Regenmenge	1km	7 Tages-Summe	resampled auf 10m
Sonnenscheindauersumme	1km	laufende Summe, tagesaktuell	resampled auf 10m
Grünlandtemperatursumme	1km	laufende Summe, tagesaktuell	resampled auf 10m
Wachstumsgradtage	1km	laufende Summe, tagesaktuell	resampled auf 10m
Fruchtart Vorjahr	Vektordaten	Wachstumszyklus	InVeKoS Daten
Fruchtart	Vektordaten	Wachstumszyklus	InVeKoS Daten
Fruchtart Folgejahr	Vektordaten	Wachstumszyklus	InVeKoS Daten
Schlag-ID Vorjahr	Vektordaten	Wachstumszyklus	InVeKoS Daten
Schlag-ID	Vektordaten	Wachstumszyklus	InVeKoS Daten
Schlag-ID Folgejahr	Vektordaten	Wachstumszyklus	InVeKoS Daten
Bodenart	Vektordaten	Statisch	Reichsbodenschätzung
Boden-Zustandsstufe	Vektordaten	Statisch	Reichsbodenschätzung
Ackerzahl	Vektordaten	Statisch	Reichsbodenschätzung
Bodenwertzahl	Vektordaten	Statisch	Reichsbodenschätzung

Tab. 1: Übersicht Quelldaten für das Bayes'sche Netz

Alle Daten werden automatisiert auf ein einheitliches 10m Raster im Koordinatensystem EPSG:32633 (WGS 84 / UTM Zone 33N) projiziert und resampled. Dazu werden Datenformate wie NetCDF⁷, ESRI-Shape⁸, GeoTiff⁹ eingelesen, prozessiert und als Kanäle in ein einheitliches Cloud Optimized GeoTiff (COG)¹⁰ geschrieben.

Wetterdaten wie Regen, Feuchte und Temperaturen werden mit unterschiedlichen Verfahren räumlich und zeitlich interpoliert¹¹. Für die automatisierte Verarbeitung der Daten im Data Lake des BData4AF kommt das Apache Airflow System¹² zum Einsatz. In diesem Framework wurden Python Scripte zur Prozesssteuerung mit eigenen Algorithmen und Python Bibliotheken verknüpft. Die Speicherung der Daten erfolgt in einem Cloud basierten MinIO Object Store (S3 kompatibel)¹³. Die Rohdaten werden automatisch von externen Ressourcen gezogen und im Data Lake abgelegt. Somit ist auch eine wiederholte Prozessierung der extrem großen Datenmengen (mehrere TB) hin zu Trainingsdaten für das Bayes'sche Modell mit verschiedenen Parametern vollautomatisch möglich. Dabei erfolgt eine automatische Erfolgskontrolle, Fehler werden geloggt und in einem Web-Frontend dargestellt. Die fertigen Trainingsdaten selbst werden über den Object Store zum Streaming in das Bayes'sche Modell bereitgestellt.

⁷ "Network Common Data Form (NetCDF)," 2024, <https://docs.unidata.ucar.edu/nug/current/>.

⁸ "ESRI Shapefile," 2024, <https://de.wikipedia.org/wiki/Shapefile>.

⁹ "GeoTIFF Bildformat," 2024, <https://de.wikipedia.org/wiki/GeoTIFF>.

¹⁰ "Cloud Optimized GeoTIFF," 2024, <https://cogeo.org/>.

¹¹ Lars Fricke et al., AMBROSIA – Automatisches Monitoring von Landwirtschaftlichen Beständen Zur Ressourcenoptimierung (ArtIFARM Status Report, 2024).

¹² "Apache Airflow," 2024, <https://airflow.apache.org/>.

¹³ "MinIO Cloud Storage," 2024, <https://min.io/>.

Zeitlich-räumliches Streaming – Bayes'sches Updating

Datenmengen von mehreren Terabyte können selbst mit den im Projekt beschafften leistungsfähigen KI-Servern nicht „ad hoc“ in den Speicher geladen und verarbeitet werden. Beim Training des Modells wird daher ein zeitlich-räumliches Streaming Verfahren im Zusammenspiel mit Bayes'schem Updating¹⁴ verwendet.

Für das Streaming wird ein kohärenter Zeitrahmen (z.B. ein Fruchtzyklus) ausgewählt. Die für diesen Zeitrahmen verfügbaren Daten werden selektiert, aber nicht direkt geladen. Vielmehr wird ein dynamischer Begrenzungsrahmen (Bounding Box) definiert.

Zunächst wird die Zielgröße des Rahmens festgelegt (100x100 Pixel). Dann werden im Rahmen befindliche Ackerschläge über die Schlag-ID selektiert und der Rahmen so erweitert, dass diese Schläge vollständig im Rahmen enthalten sind. Für das eigentliche Training werden dann ausschließlich die zuerst gefundenen Schläge über den gesamten Zeitrahmen selektiert und an das Modell übergeben.

Auf einer Fläche von 1,34 Mio. Hektar ist eine enorme Menge an Schlägen zu erwarten. Es wäre nun nicht zielführend, alle diese Schläge vollkommen separat und unabhängig zu analysieren, da es viele gemeinsame Charakteristika gibt, die es zu modellieren gilt. Um nun aus den Ergebnissen der vorangegangenen Daten Batches (n) für das Training des aktuellen Daten-Batches ($n+1$) zu lernen, wird Bayes'sches Updating verwendet.

Zu Beginn des Trainings wird beispielsweise für den NDVI einer Feldfrucht eine initiale Verteilung $\mu_{0 \text{ Frucht}}$ als Normalverteilung mit dem Erwartungswert 0.6 definiert. Der Erwartungswert besagt einen mäßigen Bewuchs mit der Zielfrucht und ist zunächst geschätzt. Zur Bestimmung eines präziseren Erwartungswertes für den Prior $\mu_{0 \text{ Frucht}}$ kann ein mittlerer NDVI $\text{ndvi}_{\text{Frucht}}$ aus dem initialen Daten-Batch $_{(n=0)}$ ermittelt werden. Da dieser Wert auf einem sehr geringen Anteil am gesamten Untersuchungsgebiet von 1,34 Mio. Hektar beruht, wird durch eine Unsicherheit $\sigma = 1.0$ modelliert.

Im Training für den ersten Daten-Batch $_{(n=0)}$ erhält man aus dieser Prior-Annahme eine Posterior-Verteilung, die dann für den folgenden Daten-Batch $_{n+1}$ als Prior genutzt werden kann und so weiter für alle folgenden Daten-Batches: $\mu_{n+1 \text{ Frucht}} = N(\mu_n, \sigma^2)$, $\sigma = \sigma_n$

Damit wird der „Lerneffekt“ durch Bayes'sches Updating für die weiteren Daten-Batches nutzbar gemacht und alle Daten-Batches können von der Gesamtheit der vorhandenen Daten profitieren.

Modellierung des NDVI

Innerhalb einer Wachstumsperiode folgt der NDVI einer typischen Kurve. Die genaue Form der Kurve hängt von der Art der Frucht, von Bodenbeschaffenheit, Wettereinflüssen und weiteren Parametern ab. Um die zeitbezogene Grundform der NDVI-Kurve je Pixel aus den zeitlich ungleichmäßig verfügbaren und verrauschten Satellitendaten zu modellieren, wird eine Kubische-Spline-Approximation verwendet. Diese Art der Approximation ist am besten geeignet, um eine NDVI-Kurve geglättet zu approximieren¹⁵.

Zu dieser Spline-Basis kommen Umwelteinflüsse und geographische Einflüsse (z.B. Bodenart), so dass sich der Erwartungswert folgendermaßen ergibt:

¹⁴ Rens van de Schoot et al., „Bayesian Statistics and Modelling,” Nature Reviews Methods Primers 1 (2021): 1–26, <https://doi.org/10.1038/s43586-020-00001-2>.

¹⁵ Natalya Vorobiova and Andrey Chernov, „Curve Fitting of MODIS NDVI Time Series in the Task of Early Crops Identification by Satellite Images,” Procedia Engineering 201 (2017): 184–95.

$$\mu_{i,t} = B(t)^T \beta_{f(i)}^{field} + B(t)^T \delta \beta_i^{pixel} + \mu_i^{pixel} + \sum_k \beta_k x_{i,t}^{(k)}$$

Kurve je Schlag
abweichender Pixelverlauf
Kovariaten Umwelt und Ort

$B(t)$: Splinebasisvektor zur Zeit t

$\beta_{f(i)}^{field}, \beta_{(i)}^{pixel}$: Pixel- bzw. feldspezifische Spline-Koeffizienten

$\mu_{(i)}^{pixel}$: NDVI-Basisniveau je Pixel

$x_{i,t}^{(k)}$: Umwelteinflussgrößen (Regen, Bodenfeuchte etc.)

β_k : Größe des Einflusses dieser Kovariaten

Dabei wird der hierarchische Zusammenhang verwendet, dass ein Ackerschlag als Ganzes einen Kurvenverlauf haben wird, wobei einzelne Pixel davon wegen z.B. Unkräutern oder Trockenheit abweichen können.

Im Fall von Störungen der optischen Daten durch Wolken ($\omega_{i,t}$) sind die beobachteten Daten deutlich unsicherer und werden somit im Modell erheblich weniger gewichtet (Abbildung 5). Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Faktor ist die Verschattung von Bereichen im Bild. Diese Verschattung wird über einen Schattenindex, den SDI (Spectral Disparity Index) und eine entsprechende Korrektur des NDVI berücksichtigt (Abbildung 4). SDI und zugehörige NDVI Korrektur werden in einer experimentellen eigenen Variante unter Berücksichtigung des täglich höchsten Sonnenstands verwendet. Ähnliche Vorgehensweisen finden sich auch bei Wang et al.¹⁶ oder Jiancheng Li et al.¹⁷.

Bisher erreichte Ergebnisse

In den Abbildungen 3 und 4 erkennt man, dass das Modell selbst dann realistische NDVI Werte liefert, wenn durch Wolkenverdeckung oder Verschattung in den Satellitendaten zu niedrige Werte gemessen wurden.

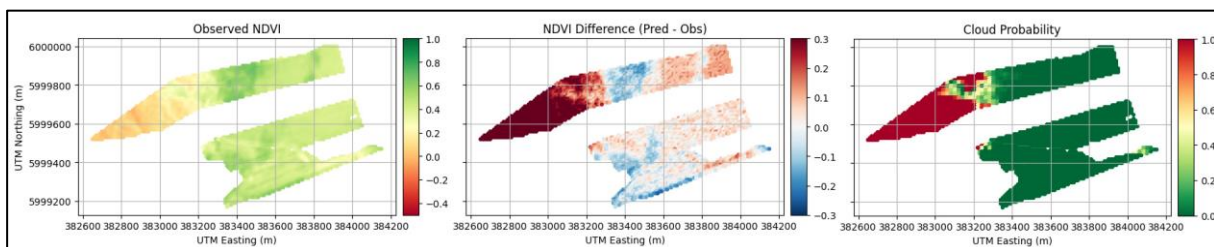


Abb. 3: Berücksichtigung von Wolken in der Modellbildung, Differenz von modelliertem und beobachteten NDVI (eigene Abbildung)

¹⁶ Sheng Wang et al., "Unmanned Aerial System Multispectral Mapping for Low and Variable Solar Irradiance Conditions: Potential of Tensor Decomposition," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 155 (2019): 58–71, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.017>.

¹⁷ Jiancheng Li et al., "Effects of Solar Elevation Angle on the Visible Light Vegetation Index of a Cotton Field When Extracted from the UAV," Scientific Reports 15 (May 2025), <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00992-6>.

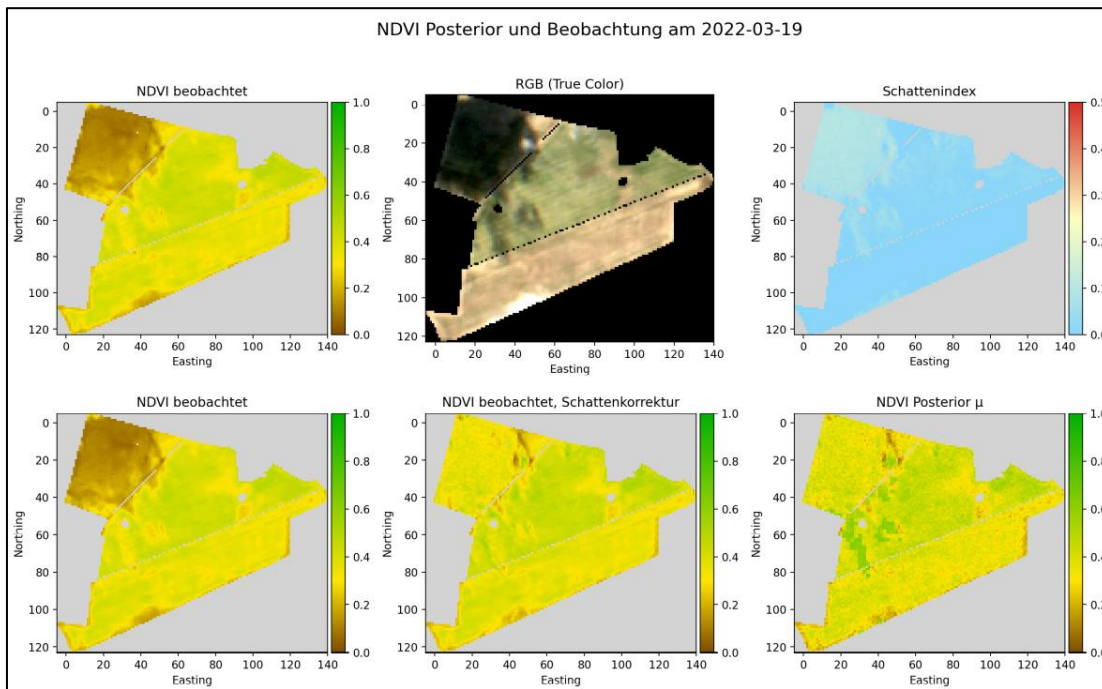


Abb. 4: Berücksichtigung von Schatten in der Modellbildung, Korrektur des beobachteten NDVI (eigene Abbildung)

Für die Prognose des NDVI wird zunächst mit den Erwartungswerten des Vorjahrs (Prior) ein partielles Training initialisiert. Danach wird der bereits bekannte Jahresabschnitt anhand der Kombination beider Modelle auf das Gesamtjahr prognostiziert. Die Prognose wird daher mit fortschreitendem Jahr bzw. mehr verfügbaren Messungen genauer. In Abbildung 5 ist gut zu erkennen, wie die Unsicherheiten von Beobachtungen und Modell sich zueinander verhalten.

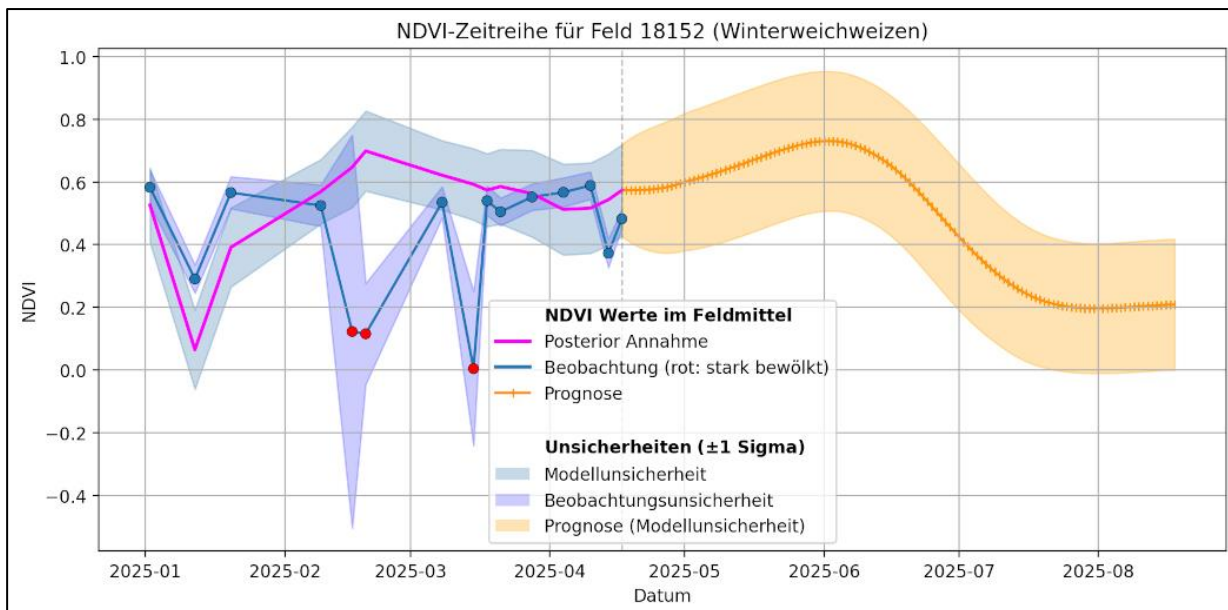


Abb. 5: prognostizierter Jahresverlauf des NDVI (eigene Abbildung)

Der Vorteil eines Bayes'schen Modells liegt auch darin, dass sich einzelne Einflussgrößen in Ihrer Wirkung im Modell darstellen und bewerten lassen (Abbildung 6).

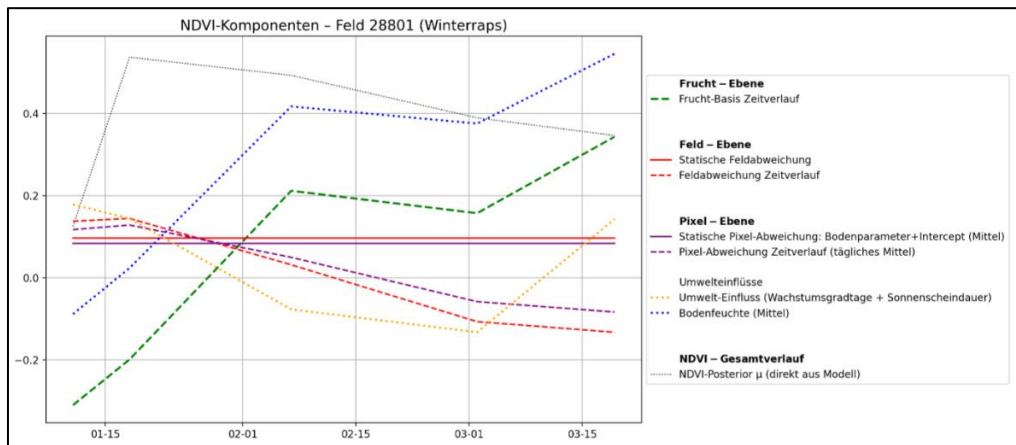


Abb. 6: Einflussgrößen im Vergleich (eigene Abbildung)

Prognose von Ernteerträgen

Im Verlauf des ArtIFARM-Projektes AMBROSIA konnte bereits eine deutliche Korrelation zwischen NDVI und Ernteerträgen gezeigt werden¹¹.

Entscheidend war dabei die Erstellung von Ertragspotentialkarten je Feldfrucht für das Untersuchungsgebiet, um die NDVI Werte gegenüber den Erträgen zu kalibrieren¹⁸. Ein weiterer Aspekt war die Notwendigkeit, den erwarteten Ertrag in stets vergleichbaren Wachstumsphasen (BBCH-Stadien) aus dem NDVI zu berechnen. Durch die beschriebene Bayes'sche Modellierung des NDVI ergeben sich folgende Möglichkeiten, die im Projektverlauf z.T. bereits untersucht wurden:

- Aus den NDVI Kurvenverläufen können BBCH-Stadien abgeleitet werden und damit die bestehenden Berechnungen weiter kalibriert und verfeinert werden¹⁹.
- Die Verfügbarkeit von großen Datenmengen für die Modellierung des NDVI ermöglicht es, mithilfe von Bayes'schem Updating trotz deutlich kleinerer Datenbasis eine Modellerweiterung in Richtung Ernteerträgen vorzunehmen²⁰. Dieser Ansatz sollte in einem möglichen Folgeprojekt weiter untersucht werden.
- Durch die Verfügbarkeit von pixelweisen NDVI Kurven können Abweichungsanalysen von Pixeln zu Schlägen bzw. Fruchtarten vorgenommen werden, die auch bei hohen NDVI Werten einen geringeren Ernteertrag prognostizieren können. Durch Abweichungsindizes kann z.B. Bewuchs mit Unkraut ermittelt werden, der trotz hohem NDVI einen niedrigen Ertrag erwarten lässt. Diese Abweichungsanalyse kann visuell in den Online-Karten erfolgen.

Bereitstellung der Ergebnisse für Landwirt*innen

Auf Basis des Frameworks aus BData4AF wurde die Datenpipeline für Datenakquise, Prozessierung und Prognose vollständig automatisiert. Um die Anforderung für eine Analyse so wie die Kartendarstellung für die Ergebnisse prototypisch online bereitzustellen, fiel die Wahl auf einen Python-Flask Server²¹ in Kombination mit einem Front-End auf Basis des Open Source Leaflet-Kartenframeworks²².

¹⁸ Alexey Stepanov et al., "Predicting Soybean Yield at the Regional Scale Using Remote Sensing and Climatic Data," Remote Sensing 12 (2020): 1936, <https://doi.org/10.3390/rs12121936>.

¹⁹ A. Htiou et al., "Towards Optimising the Derivation of Phenological Phases of Different Crop Types over Germany Using Satellite Image Time Series," Remote Sensing 16, no. 17 (2024): 3183, <https://doi.org/10.3390/rs16173183>.

²⁰ Ronald Katende, "Integrating Sparse Data for Climate-Driven Agricultural Productivity Estimation in Low-Income Countries: Bayesian and Long-Term Analytical Approaches," 2024, <https://doi.org/10.31223/X5FX48>.

²¹ Python Flask, <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>

²² Leaflet, an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps, <https://leafletjs.com/>

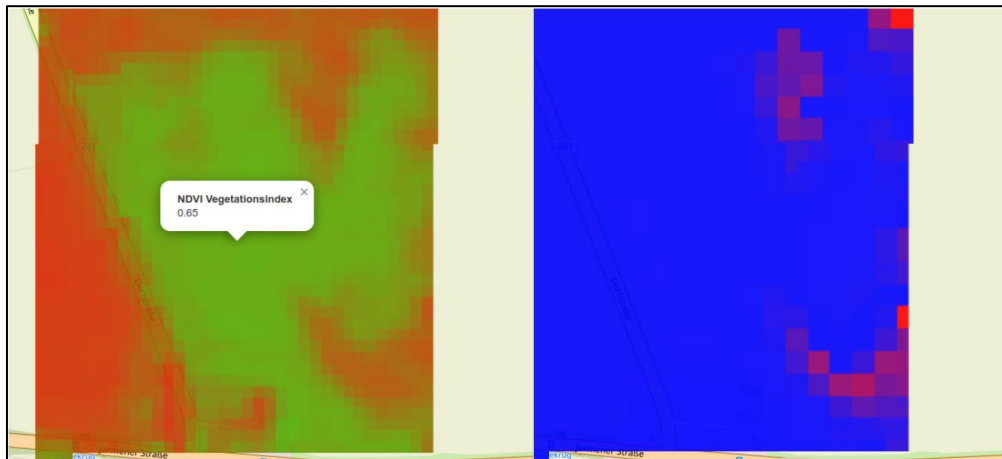


Abb. 10: links: eingetroffene NDVI-Verteilung / rechts: Wolkenverdeckung (rote Bereiche) (eigene Abbildung)

Die 1,5 Monate zuvor prognostizierte NDVI Verteilung ist im Rahmen der Messgenauigkeit aus Sentinel 2 Daten plausibel.

Es fällt auf (Abbildung 10), dass der NDVI am oberen Ende des Schlages geringer ist. Und zwar nicht nur aufgrund der Störung durch Wolken. Diese Reduktion des NDVI und das damit einhergehende geringere Wachstum ist auch in der Prognose in Abbildung 9 erkennbar.

Eine in 1999 durch das DLR Neustrelitz vorgenommene Ertragskartierung (Abbildung 11) bestätigt trotz leicht veränderter Schlag-Grenzen den Befund. Es ist zu beachten, dass der obere Bereich in 2025 nicht eingedrillt wurde (Markierungslinie).

Der Vergleich zeigt auch, dass Ertragsverteilungen über viele Jahre stabil und die im vorangegangenen Bericht vorgestellten Lösungen zur Ertragsprognose aus NDVI Daten plausibel sind.

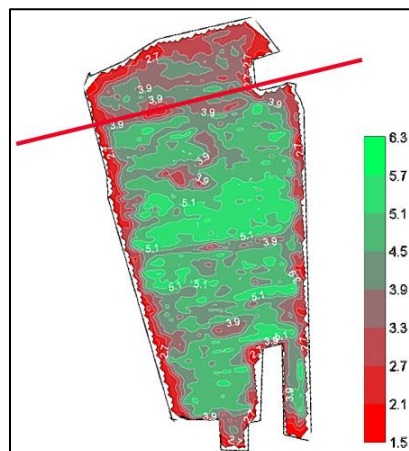


Abb. 11: Ertragskartierung 1999, farblich verändert nach Zabel, E., Borg, E., 2000, Maschinengestützte Ertragskartierung und experimentelle Datenauswertung einer Bestandsentwicklung von IRS-P Daten (eigene Abbildung)

Fazit

Im Projekt konnte erfolgreich gezeigt werden, dass es möglich ist durch Kombination von satellitengestützten Fernerkundungs- und georeferenzierten Zusatzdaten mit einem Bayes'schen KI-Modell die Wachstumsentwicklung und Ertragsbildung sowie weitere Parameter zu prognostizieren. Insbesondere ist es durch die Verwendung eines probabilistischen KI-Modells möglich, Lücken und Störungen in den

Quelldaten (z.B. Wolkenverdeckung) weitgehend zu kompensieren und zugleich eine Abschätzung zur Qualität der Modellbildung zu erhalten.

Es wurde ein vollautomatisiertes Online-Tool prototypisch bereitgestellt, mit dem Nutzer*innen die Möglichkeit haben, Analyseaufträge zu erstellen und in Folge sowohl die Quelldaten, als auch die Prognosen im Browser zu visualisieren.

In den Analysen werden die Entwicklung des Pflanzenwachstums, die Ertragserwartung als auch Abweichungen des Bewuchses innerhalb eines Schlages prognostiziert und visualisiert.

Es werden zeitliche Abschätzungen zu Beginn der Wachstumsphase (SOS - Start of Season), des saisonalen Maximums an Begrünung (POS - Peak of Season) und des Beginns der Erntereife (EOS - End of Season) bereitgestellt.

Die Analyseergebnisse können für die Verbesserung der Ressourcenplanung und -effizienz sowie die Gestaltung nachhaltiger Prozesse in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion genutzt werden.

Literaturverzeichnis

Rauthe, Norman, Maik Focke, Veronika Shvets, Mark Vehse, and Tobias Hillmann. "Mit Automatischer Luftbildprozessierung und KI im Data Lake zur Feldsteindetektion." In *Neubrandenburger Geosymposium 2024*, 2024.

Lars Fricke, Norman Rauthe, Tobias Hillmann, "Bayes'sche Modellierung von raum- zeitbasierten hierarchischen Prozessen auf Basis von Fernerkundungsdaten und georeferenzierten Fachdaten," 15. Norddeutsche Fachtage am 22. und 23. Mai 2025, Neubrandenburg, Mehr(wert) durch Koordinaten, Mai 22, 2025

Fricke, Lars, Veronika Shvets, Norman Rauthe, Hauke Hoppe, Frank Czarnikow, Wilderich Freiherr von Maltzahn, Erik Borg, and Tobias Hillmann. *AMBROSIA – Automatisches Monitoring von landwirtschaftlichen Beständen zur Ressourcenoptimierung*. ArtIFARM Status Report, 2024.

Ghahramani, Zoubin. "Probabilistic Machine Learning and Artificial Intelligence." *Nature* 521 (2015): 452–59. <https://doi.org/10.1038/nature14541>.

Senf, Cornelius, Dirk Pflugmacher, Marco Heurich, and tobias Krüger. "A Bayesian Hierarchical Model for Estimating Spatial and Temporal Variation in Vegetation Phenology from Landsat Time Series." *Remote Sensing of Environment*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.020>.

Memic, Emir, Jonas Fröböl, and Simone Graeff-Hönninger. "Combining a Crop Growth Model with Satellite Images to Get Better Insight in Wheat Growth." In *Lecture Notes in Informatics (LNI)*. Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2024.

Ministerium für Klimaschutz, ländliche Räume und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Landwirtschaft. "Offizielle Website Zur Landwirtschaft," 2025. <https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/Im/Landwirtschaft/Landwirtschaft>.

Schoot, Rens van de, S. Depaoli, R. King, and et al. "Bayesian Statistics and Modelling." *Nature Reviews Methods Primers* 1 (2021): 1–26. <https://doi.org/10.1038/s43586-020-00001-2>.

Vorobiova, Natalya, and Andrey Chernov. "Curve Fitting of MODIS NDVI Time Series in the Task of Early Crops Identification by Satellite Images." In *Procedia Engineering*, 201:184–95, 2017.

Sheng Wang et al., “Unmanned Aerial System Multispectral Mapping for Low and Variable Solar Irradiance Conditions: Potential of Tensor Decomposition,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 155 (2019): 58–71, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.06.017>.

Jiancheng Li et al., “Effects of Solar Elevation Angle on the Visible Light Vegetation Index of a Cotton Field When Extracted from the UAV,” *Scientific Reports* 15 (May 2025), <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00992-6>.

Htitiou, A., M. Möller, T. Riedel, F. Beyer, and H. Gerighausen. “Towards Optimising the Derivation of Phenological Phases of Different Crop Types over Germany Using Satellite Image Time Series.” *Remote Sensing* 16, no. 17 (2024): 3183. <https://doi.org/10.3390/rs16173183>.

Katende, Ronald. “Integrating Sparse Data for Climate-Driven Agricultural Productivity Estimation in Low-Income Countries: Bayesian and Long-Term Analytical Approaches,” 2024. <https://doi.org/10.31223/X5FX48>.

Stepanov, Alexey, Konstantin Dubrovin, Aleksei Sorokin, and Tatiana Aseeva. “Predicting Soybean Yield at the Regional Scale Using Remote Sensing and Climatic Data.” *Remote Sensing* 12 (2020): 1936. <https://doi.org/10.3390/rs12121936>.

Formate und Software:

“Apache Airflow”: <https://airflow.apache.org/>

“Cloud Optimized GeoTIFF”: <https://cogeo.org/>

“ESRI Shapefile”: <https://de.wikipedia.org/wiki/Shapefile>

“GeoTIFF Bildformat”: <https://de.wikipedia.org/wiki/GeoTIFF>

“MinIO Cloud Storage”: <https://min.io/>

“Network Common Data Form (NetCDF)”: <https://docs.unidata.ucar.edu/nug/current/>

“Leaflet, an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps, <https://leafletjs.com/>”

“Python Flask, <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>”

*AMBROSIA ist ein Vorhaben des WIR!-Bündnisses “ArtIFARM – Artificial Intelligence in Farming”. Die Autor*innen danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (FKZ: 03WIR4809) für die finanzielle Unterstützung.*

NAIFM

Nachweis von Nährstoffbiomarkern für das AI-vermittelte Düngemittelmanagement in der landwirtschaftlichen Kulturpflanzenproduktion auf dem Feld¹

Stefan Simm, Vajiheh Safavi-Rizi, Martin Israel, Thomas Beil

Ausgangslage und Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Vorhabens besteht in der Optimierung der erforderlichen Nährstoffzufuhr durch Dünger mit Fokus auf Stickstoff auf dem Feld für verschiedene regional angebaute Kulturpflanzen, darunter Raps und Weizen, sowie deren verwendete Kultivare. Im Rahmen des Vorhabens ist die Entwicklung eines Systems zur frühen und dynamischen Erkennung von Mangel- und Überangebotserscheinungen der Pflanzen vorgesehen. Dieses basiert auf neu identifizierten Merkmalen, welche aus Bildaufnahmen und deren Korrelation zu molekularen Markern gewonnen wurden. Die erlernte Fähigkeit, kausale Zusammenhänge zwischen zeit- und orts aufgelösten molekularen Biomarkern, Umgebungsvariablen und phänotypischen Bildaufnahmen von Drohnen und Satelliten herzustellen, ermöglicht eine Optimierung des Düngemittelverbrauchs und des Managements durch lokale und schnelle Reaktionen.

Im ersten Schritt erfolgt eine Analyse des Nährstoffgehalts, wobei der Fokus auf Stickstoff und dessen Veränderungen bei Kulturpflanzen liegt. Die Analyse erfolgt auf Testschlägen in Relation zu Umgebungsvariablen, welche durch Bodenproben und Wetterdaten definiert werden. Ziel ist die Definition von Mangel und Überschuss. Im Rahmen dessen werden sowohl auf molekularer Ebene mittels Next Generation Sequencing (NGS) des Transkriptoms mögliche Marker für die Kulturpflanzen identifiziert als auch eine Verknüpfung mit phänotypischen Variablen bezüglich des Chlorophyllgehalts und des Stickstoffgehalts vorgenommen. Basierend auf orts- und zeitaufgelösten Bildaufnahmen der Kulturpflanzen auf dem Feld mittels Drohnen und Satelliten wird eine robuste, erklärbare KI trainiert, um Früherkennungsmarker unter longitudinalen Düngungsstudien zu extrahieren. Im Rahmen dessen erfolgt die Entwicklung einer Deep-Learning-Methode basierend auf "Convolutional Neural Nets" (CNNs) mit XAI-Komponenten ("eXplainable Artificial Intelligence"), welche die Extraktion kausaler Rückschlüsse aus Bildinformationen hinsichtlich der Biomarker und des Pflanzenbefindens sowie die Erkennung des erforderlichen Düngereinsatzes ermöglicht. Ein weiterer Fokus liegt in der Optimierung der Methodik zur Bildaufnahme mittels Drohnen/Satelliten und der hierfür benötigten Kameras. Im Anschluss werden den Landwirtschaftsbetrieben die temporalen, orts aufgelösten Informationen über den Düngemittelbedarf mit zusätzlichen Informationen über die Variablen, welche zu der Entscheidung beigetragen haben, zur Verfügung gestellt. Dadurch können Besonderheiten der Schläge detektiert werden. Des Weiteren wird im Rahmen dieses Projekts die Ausbringung von Düngemitteln mittels Drohnen und KI-Informationen optimiert, um für Landwirtschaftsbetriebe ein trainiertes, erklärbares KI-Modell zum automatisierten, dynamischen und lokalen Düngungsmanagement mittels Drohnen zu entwickeln.

Die Innovation dieses Projektes besteht in der Identifizierung neuer Früherkennungsmerkmale zur Bestimmung des Stickstoffgehalts in der Pflanze. Diesbezüglich ist die Weiterentwicklung der Bildaufnahmetechnologie sowie die Implementierung eines erklärbaren KI-Modells auf Bild- und Molekulardaten erforderlich, um eine schnelle, lokale und dynamische Düngerzufuhr zu gewährleisten. Eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen erlaubt eine Reduktion der Kosten der Überdüngung um bis zu 30 %. Aufgrund der Tatsache, dass molekulare Modifikationen bei Nährstofflimitierung früher stattfinden als starke phänotypische Änderungen wie der Chlorophyllgehalt bei aktuellen Messmethoden, könnten solche Biomarker als diagnostisches Werkzeug auf dem Schlag zur automatischen Erkennung von

¹ Nutrient biomarker for optimized AI-driven fertilizer management

Bedürfnissen (Precision Farming) von großem Nutzen sein. Eine vielversprechende Möglichkeit ist die Ausweitung der Markersuche auf weitere Kulturpflanzen und Nährstoffe. Dadurch könnten pflanzenspezifische KI-Modelle und Biomarker entwickelt werden. Die Düngerausbringung könnte durch die lokale und schnelle Detektion mittels Sprühern und Streuern an Drohnen oder automatisierten Prozessen optimiert werden. Ein Vergleich der mittels Drohnen und Satelliten erfassten Bilddaten soll eine Optimierung der bestehenden Ansätze sowie die Identifizierung neuer phänotypischer Marker ermöglichen. Die Markergene sowie die Prozedur zur Findung solcher molekularen Marker können auf andere Nutzpflanzen übertragen werden, sodass auch eine Anwendung für andere Dünger, Herbizide, Pesticide und deren optimale Ausbringung möglich ist.

Das Team

Das interdisziplinäre Team aus Forschungs- und Industrie-Partnern weist Expertise auf den Gebieten der Bioinformatik, Data Science, Fernerkundung, Biologie mit Fokus auf Pflanzenphysiologie und Landwirtschaft auf. Generell sind die synergistischen Effekte der Arbeitsgruppen aus bioinformatischer, biologischer, landwirtschaftlicher, geoinformatischer und angewandter KI-Expertisen in Bezug auf die Auswertung von Omics- und Bilddatensätze vorhanden. Prof. Dr. Stefan Simm (Institut für Bioinformatik, Universitätsmedizin Greifswald und Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg) verfügt über Erfahrung auf dem Gebiet der integrativen Multi-Omics Datensätze in Pflanzen unter abiotischen Stresskonditionen und implementiert XAI(erklärbare KI)-Komponenten. Zusammen mit Dr. Vajiheh Savafi-Rizi (Institut für Biologie, Universität Leipzig), als Expertin in Pflanzenphysiologie und Molekularbiologie, insbesondere Nährstoffmangel wie Stickstoff (N) in Kulturpflanzen wie Raps und Tomate, werden die NGS-Proben der Pflanzen analysiert. Neben der Biomarker Detektion werden dort auch die Bodenproben analysiert. Die Firma thermal DRONES GmbH (geleitet von Martin Israel) ist ein junges Technologie-Startup und ein Spin-Off des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Es kümmert sich um die Entwicklung der Drohnen-Funktionsmuster und deren Bildaufnahmen mittels KI-gestützter Objekt-Detektion. Die Greifswalder Agrarinitiative e.V. (Dipl. Biol. Thomas Beil; Geschäftsführer) ist ein eingetragener, anerkannt gemeinnütziger Verein mit 40 Mitgliedern stellt insgesamt 25.260 ha landwirtschaftliche Nutzfläche zur Verfügung und hilft bei der Verknüpfung von Landwirtschaft zu Forschung und der nachhaltigen Nutzung von Düngemitteln aufgrund der Projektmanagement-Erfahrung.

Aktuelle Aktivitäten im Vorhaben

Das Vorhaben ist im März 2024 gestartet und nun für die zweite Saison des Winterraps vorbereitet. Hierzu wurden die Protokolle für die Beprobung und Befliegung aus der ersten Saison erstellt, finalisiert und ausgewertet. Des Weiteren gab es die ersten Abstimmungstreffen und das erste Jahresmeeting mit allen Mitarbeiter*innen. Es wurden die Unteraufträge erneuert und die Materialien zur Durchführung angeschafft. In drei aktuellen Landwirtschaftsbetrieben wurden die Analysen durchgeführt (Beprobung vor und nach der Düngung). Die ersten KI-Modelle auf molekularen Daten sind abgeschlossen (XModNN) und die Bilddaten KI-Modelle sind ebenfalls anhand von den Feldern erstellt. Aktuell haben wir drei Felder mit verschiedenen Kultivaren und unterschiedlichen Düngungsmethoden. Das Netz kann diese sehr gut unterscheiden. Weiterhin kann es auch innerhalb von 4 Wochen Unterschiede anhand der Pflanzen wahrnehmen (Düngungszustand und Entwicklung). Die molekularen Auswertungen zeigen Unterschiede in den Kultivaren und eine Reaktion auf die Düngung.

Bisher erreichte Ergebnisse

- Erstellung von Protokollen zur Materialextraktion der Pflanzen,
- Messung der phänotypischen Daten der Pflanzen und Beprobung des Bodens,

- Erstellung von automatisierten Drohnenflügen für die wöchentliche Befliegung zur Aufnahme des Pflanzenwachstums,
- KI-Modelle zur Extraktion von Biomarkern auf molekularen Daten (mit wenig Replikaten),
- Unterscheidung und erklärbare KI-Modelle auf Raps zur Unterscheidung von Feldern und kurzen Phasen von Düngung/Entwicklung,
- Modelle zur Objekterkennung einzelner Blätter zur Reduktion von Rauschen und Störsignalen,
- Molekulare Analysen und Bodenproben für die Düngung zur Reaktion der Kultivare und Einfluss des Düngungsregimes,
- Erste Absteckungen der Methodik zur Bildaufnahme.

Wirkung des Vorhabens in die Bündnisregion

Die Erhöhung der Ressourceneffizienz kann durch autonome Prozesse, welche auf Drohnen basieren, erzielt werden. Diese sollen die Düngerezufuhr lokal anpassen können. Des Weiteren kann das digitale Agrarmanagement durch die automatische Dokumentation von Schlägen und deren Düngerkosten vereinfacht werden. Die Nutzung von erklärbarer KI in der Agrarwirtschaft ermöglicht zudem die Nachvollziehbarkeit und Transparenz für den Landwirt. Die Verknüpfung von molekularen Biomarkern und Bildaufnahmen der Pflanzen ermöglicht die Erkennung kausaler Zusammenhänge, welche die Grundlage für eine Verbesserung des "Precision Farming" darstellen. Zudem kann eine Früherkennung von Nährstoffmangel/-überschuss gewährleistet werden. Des Weiteren wird das Forschungsfeld zur Optimierung von Bildaufnahmen bearbeitet, um Ressourcen auf dem Feld zu minimieren. Im Rahmen der Optimierung erfolgt eine Anpassung des Flugmusters, des Abstands sowie des Blickwinkels unter der Nebenbedingung einer präzisen Unterscheidung der relevanten Merkmale. Die Kernidee von NAIFM besteht darin, den Ertrag zu maximieren, während der Aufwand für Landwirt*innen minimiert wird. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird zudem die autonome Ausbringung von Düngemitteln durch eine Drohne realisiert. Diese ist in der Lage, das Düngemittel präzise an den von der XAI vorhergesagten Pflanzenpositionen auszubringen. Neben der frühzeitigen Vorhersage des Düngemittelbedarfs stellt auch die automatische exakte Positionierung eine anspruchsvolle Aufgabe dar, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens adressiert wird.

Hierdurch sollen neue Produkte und Serviceleistungen für zukünftige Firmen in der Region für die Düngung geschaffen werden. Dies ermöglicht die Schaffung neuer Arbeitsplätze und das Training für Landwirtschaftspersonal. Die Ressourceneffizienz soll den Ertrag erhöhen und die Kosten für die Betriebe senken.

Einbindung des ArtIFARM-Netzwerkes und Verstetigung der Ergebnisse

Die wissenschaftlich-technologischen Resultate aus NAIFM könnten auch in Bezug auf das komplette ArtIFARM und die bereits geförderten Projekte, insbesondere SE4UAS-LW, AMBROSIA, ArtIGROW und BData4AF, von Vorteil sein. Ihre Realisierung erfolgt in enger Kollaboration.

SE4UAS-LW bekundet sein Interesse an potenziellen Anwendungsbereichen von Drohnen in der Landwirtschaft. NAIFM kann in diesem Kontext als Beispiel für Precision Farming dienen. Im Rahmen dessen könnten Informationen zu Drohnensystemen (Bildgenerierung und Lastenausführung) auf dem Feld bereitgestellt werden, wobei eine spezifische Ausrichtung auf die Anforderungen von Landwirt*innen in Mecklenburg-Vorpommern gewährleistet wäre.

AMBROSIA eignet sich in besonderem Maße als Vergleichs- oder Austauschgröße für NAIFM, da die Satellitenaufnahmen mit den Drohnenaufnahmen in Beziehung gesetzt werden können. Der Ansatz

basiert auf der Generierung einer Mischung aus lokaler und globaler Information an phänotypischen Merkmalen. Das Ziel von AMBROSIA besteht in der Optimierung der Düngung auf Basis von Satellitenaufnahmen, welche ein Potenzial zur Düngung aufzeigen. Der Ansatz von NAIFM fokussiert spezifisch auf die Stickstoffdüngung und generiert eine Vielzahl lokaler Daten, darunter molekulare Daten, Bodenproben, phänotypische Pflanzendaten sowie verschiedene Kameraaufnahmen durch Drohnen. In diesem Zusammenhang kann der Use Case dahingehend analysiert werden, inwiefern Potenzialkarten und lokale Analysen (Drohnen-Bildaufnahmen) sich gegenseitig ergänzen. Die Satellitenaufnahmen aus AMBROSIA, welche im Rahmen von Testschlägen in NAIFM generiert wurden, ermöglichen es AMBROSIA, durch NAIFM Bodenprobendaten, eine alternative Datenaufnahme, molekulare und pflanzliche Marker sowie eine Expertise auf dem Gebiet der Pflanzenphysiologie und Molekularbiologie zu erlangen. NAIFM erhält aufbereitete Datensätze zu Satellitenaufnahmen, welche für das Training von XAI sowie für einen Vergleich mit den Drohnen Daten herangezogen werden.

Der Einsatz von ArtIGROW würde es ermöglichen, nicht nur die unter Stickstoffmangel leidenden Wurzeln *in vitro* zu analysieren, sondern auch die Auswirkungen eines solchen Mangels auf die oberirdischen Pflanzenteile zu untersuchen. Da NAIFM keine direkten Beobachtungen der Wurzel vornimmt, werden jedoch phänotypische Veränderungen simultan gemessen, wodurch eine optimierte Düngung mit einer größeren Anzahl an Parametern realisiert werden kann. Das Wurzelwachstum könnte als neuer Parameter für Stickstoffmangel in Zukunft dienen und von der XAI aus NAIFM miteinbezogen werden. NAIFM könnte durch seine molekularen Biomarker für ArtIGROW von Interesse sein, da auf diese Weise das Wachstum in Relation zu den molekularen Markern gesetzt werden kann. NAIFM könnte neben den Bodenproben auch die Wettervorhersagen aus ArtIGROW implementieren, wodurch sich eine weitere Möglichkeit der Synergiebildung ergäbe.

Die Aufgabe von BData4AF besteht in der Generierung einer Plattform zum Abspeichern der Daten aus ArtIFARM. An dieser Stelle könnten die Bodenproben und molekularen Daten neue Datenstrukturen liefern, die in die Implementierung einbezogen werden könnten. Des Weiteren könnten für unsere Testschläge holistische Datenstrukturen aus molekularen Daten, Drohnen-Bilddatensätzen, Satellitenaufnahmen, Bodenproben und pflanzlichen Markern erstellt werden, um die Möglichkeiten einer solchen Datenbank zu veranschaulichen.

Das Projekt AI-Biome fokussiert sich auf die Analyse von Microbiome-Datensätzen zur Tiergesundheit mittels Next Generation Sequencing (NGS). Auch in diesem Projekt werden die NGS-Datensätze mittels künstlicher Intelligenz (KI) zum Training genutzt. Dieser Ansatz ist mit NAIFM verwandt, weshalb ein Austausch in den verwendeten Strategien der KI und der Prozessierung der Datensätze von Vorteil für beide Vorhaben ist.

Generell können die Ergebnisse aus NAIFM verstetigt werden auf drei verschiedenen Ebenen. Erstens auf der Ebene der Identifizierung neuer molekularer Marker zur Früherkennung von Stress der Pflanze aufgrund von Düngung. Dies könnte für weitere Schnelltests und Assays weiterentwickelt werden. Zweitens in der Anwendung von Drohnen für die phänotypische Charakterisierung der Felder und Ausbringung von Düngemitteln. Dies ermöglicht die Verstetigung in Form von neuen Serviceleistungen und geschulten Potenzial für Smart-Farming. Drittens die Nutzung von Metadaten aus dem Feld für KI-Modelle zur Optimierung von Prozessen. Dies ermöglicht den Transfer auf andere Gebiete des Smart-Farming und die Optimierung von Erträgen.

NAIFM ist ein Vorhaben des WIRI-Bündnisses "ArtIFARM – Artificial Intelligence in Farming". Die Autoren danken Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (FKZ: 03WIR4810) für die finanzielle Unterstützung.

SE4UAS-LW

Studie zum Einsatz von Drohnen in der Landwirtschaft

Christian Bunse

Ausgangslage und Ziel des Vorhabens

Die vorliegende Studie verfolgte das Ziel, einen umfassenden Überblick über die aktuellen und zukünftigen Einsatzmöglichkeiten von Drohnen (UAS – Uncrewed Aircraft Systems) in der Landwirtschaft zu geben. Dafür wurden bestehende Technologien, verfügbare Systeme und ihre praktischen Anwendungen systematisch erfasst und bewertet. Darüber hinaus wurden neue, bislang unerschlossene Einsatzszenarien sowie Innovationspotenziale identifiziert, die eine nachhaltige und effiziente Weiterentwicklung der landwirtschaftlichen Praxis ermöglichen können.

Das Ergebnis ist eine detaillierte Marktübersicht über bestehende Technologien und Anbieter sowie eine Sammlung spezifizierter Anwendungsszenarien, die eine Grundlage für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte bilden – insbesondere für deren Umsetzung im Rahmen des ArtIFARM-Bündnisses, aber auch darüber hinaus.

Drohnen werden in der Landwirtschaft der Zukunft eine zunehmend zentrale Rolle einnehmen. Dank ihrer hohen Mobilität, den geringen Infrastruktur-Anforderungen und der Möglichkeit, über statt auf dem Ackerboden zu agieren, sind sie bereits heute in bestimmten Bereichen klassischen Landmaschinen überlegen. Zukünftig werden sie in immer mehr Anwendungsfeldern zum bevorzugten Werkzeug werden – von der präzisen Datenerfassung und Zustandsüberwachung über gezielte Applikationen bis hin zur autonomen Flottenkoordination.

Mit der Integration zusätzlicher fliegender Sensorik und der Option, ortsunabhängig – etwa vom Feldrand oder aus dem Büro – präzise Informationen über den Zustand der eigenen Flächen zu erhalten, entwickeln sich Drohnen zu einem Schlüsselement des Smart Farming. Sie leisten damit einen entscheidenden Beitrag zur Digitalisierung, Effizienzsteigerung und Nachhaltigkeit moderner Landwirtschaft.

Das Team

Die Studie wurde gemeinsam von den Hochschulen Stralsund und Neubrandenburg durchgeführt. Das Stralsunder Teilvorhaben wurde von Prof. Christian Bunse und Michael Thurm durchgeführt. Das Neubrandenburger Teilvorhaben wurde von Prof. Tobias Hillmann und Lutz Hamann umgesetzt.

Aktueller Arbeitsstand im Vorhaben

Nach dem Abschluss der Forschungsarbeiten im Projekt SE4UAS und der Drohnen-Studie liegt der Fokus nun auf der praktischen Anwendung der erzielten Ergebnisse im Rahmen des ArtIFARM-Bündnisses.

Aktuell werden die im Projekt entwickelten Methoden und Technologien in konkrete Smart-Farming-Szenarien überführt. Ziel ist es, den Einsatz von Drohnen und anderen automatisierten Systemen so zu gestalten, dass sie Landwirt*innen im Alltag gezielt unterstützen - etwa durch präzise Datenerfassung, zustandsabhängige Bewirtschaftung oder intelligente Entscheidungshilfen.

Das Projektteam arbeitet dafür gemeinsam mit Partnern aus Forschung, Industrie und Praxis an der Entwicklung integrierter Lösungen, bei denen fliegende Systeme, Sensorik und digitale

Farmmanagement-Plattformen reibungslos zusammenarbeiten. Erste Pilotprojekte sind bereits in Vorbereitung, um die Praxistauglichkeit der Ansätze unter realen Bedingungen zu erproben.

Langfristig sollen die Ergebnisse dazu beitragen, die Landwirtschaft effizienter, nachhaltiger und digital vernetzter zu gestalten – und damit die Rolle der Hochschule Stralsund als Innovationsmotor für intelligente Agrartechnologien weiter zu stärken.

Bisher erreichte Ergebnisse

Im SE4UAS-Projekt wurde untersucht, wie Drohnen die Landwirtschaft effizienter, sicherer und nachhaltiger gestalten können. Dabei zeigte sich schnell: Drohnen sind bereits weiter verbreitet, als zunächst angenommen – und ihr Potenzial geht weit über klassische Anwendungen hinaus.

Die Analysen haben vier zentrale Einsatzprinzipien identifiziert: Die Nutzung optischer Sensoren zur Feld- und Pflanzenüberwachung, die Ausbringung von Flüssigkeiten wie Dünger oder Pflanzenschutzmitteln, die Ausbringung von Streugut wie Saatgut oder Kalk - und schließlich die Nutzung des Rotorwinds, der als Nebeneffekt der Trägerplattform gezielt eingesetzt werden kann. Für die ersten drei Bereiche stehen bereits ausgereifte Drohnenmodelle auf dem Markt bereit, während der letzte Ansatz neue technologische Chancen eröffnet.

Um diese Anwendungen praxisnah zu erproben, wurden Demonstrationsflüge bei ArtIFARM-Veranstaltungen durchgeführt. Die Flüge waren anspruchsvoll: Gesetzliche Vorschriften, Genehmigungsverfahren und hohe Sicherheitsanforderungen stellten echte Herausforderungen dar. Gleichzeitig konnten wir hier technologische Fortschritte sichtbar machen und praxisrelevante Probleme identifizieren – ein wichtiger Schritt, um Drohnentechnologien gezielt weiterzuentwickeln.

Ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit ist die Anwendungs- und Technologiematrix. Sie verknüpft Drohrentypen mit technischen Merkmalen wie Gewicht, Reichweite, Nutzlastkapazität, Windresistenz und Datensicherheit und ordnet sie spezifischen landwirtschaftlichen Anwendungen zu. Zusätzlich berücksichtigt die Matrix flugrechtliche Rahmenbedingungen sowie Sicherheitsaspekte und bietet so ein strategisches Werkzeug, mit dem innovative Drohnentechnologien schnell in die Praxis übertragen werden können.

Auf Basis dieser Analysen wurden neue, besonders vielversprechende Einsatzfelder identifiziert – bestätigt durch Befragungen unter Landwirt*innen: Drohnen können in Zukunft Medikamentenlieferungen bei Tierseuchenausbrüchen übernehmen, Schädlinge durch gezielte Luftüberwachung bekämpfen, Biogasanlagen auch in schwer zugänglichen Bereichen inspizieren, Versicherungsschäden dokumentieren, Biodiversität und Pflanzenschutzmittel überwachen, Bodenunebenheiten oder Fremdkörper vor der Bearbeitung erkennen und Ersatzteile direkt zu Maschinen auf dem Feld liefern.

Ein weiterer innovativer Ansatz war die vergleichende Analyse von Einzeldrohnen gegenüber Schwarmtechnologien. Dabei ging es vor allem um Effizienz, Skalierbarkeit und Kosteneffektivität bei großflächigen Einsätzen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in modularen Folgeprojekten genutzt, um gezielt Lücken in Sensorik, Flugrobotik und Steuerungstechnologie zu schließen – und so den Einsatz von Drohnen noch praktikabler und wirtschaftlicher zu machen.

SE4UAS-LW liefert damit nicht nur wissenschaftlich-technische Grundlagen, sondern schafft eine solide Basis für konkrete Pilotanwendungen in der digitalisierten, nachhaltigen Landwirtschaft. Landwirt*innen, Technologieanbieter und Forschungseinrichtungen erhalten praxisnahe Orientierung, wie Drohnen effizient, sicher und wirtschaftlich in den Betrieb integriert werden können – und wie sie langfristig zu einem zukunftsfähigen, resilienten Agrarbetrieb beitragen.

Wirkung des Vorhabens in die Bündnisregion

Drohnen spielen inzwischen in zahlreichen ArtIFARM-Vorhaben eine zentrale Rolle. Diese Entwicklung bestätigt die in unseren Analysen und Studien prognostizierte zunehmende Bedeutung unbemannter Flugsysteme (UAS) für die moderne Landwirtschaft. Der Trend zur Digitalisierung und Automatisierung landwirtschaftlicher Prozesse wird sich – national wie international – weiter verstärken. Für die Region bedeutet dies eine wertvolle Chance, sich bei diesem Zukunftsthema an vorderster Innovationslinie zu positionieren.

Ein besonderer Vorteil liegt darin, dass der Drohnenbereich innerhalb der Agrartechnik bislang noch nicht von den etablierten Großkonzernen dominiert wird. Zwar existiert ein marktprägender Anbieter im Bereich professioneller Drohnensysteme, dennoch besteht Raum für neue, regionale und unabhängige Geschäftsmodelle. Damit eröffnet sich für Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Start-ups aus der Region die Möglichkeit, eigene Kompetenzen aufzubauen und innovative Lösungen „aus der Region, für die Region“ zu entwickeln.

Hinzu kommt, dass die Investitionshürden im Drohnensektor vergleichsweise gering sind: Sowohl für Landwirt*innen als Anwender*innen als auch für kleine und mittlere Produzent*innen ist der Einstieg in die Technologie deutlich kostengünstiger als bei klassischen Landmaschinen. Diese Zugänglichkeit fördert die Verbreitung und Akzeptanz der Technologie und schafft ideale Voraussetzungen, um in Mecklenburg-Vorpommern ein leistungsfähiges, regional verankertes Innovationsökosystem rund um Agrardrohnen aufzubauen.

Einbindung des ArtIFARM-Netzwerkes und Verstetigung der Ergebnisse

Mit unseren Ergebnissen unterstützen wir das ArtIFARM-Bündnis auf dem Weg in die nächste Umsetzungsphase und darüber hinaus. Bereits jetzt liegen konkrete Innovationsideen für mehrere weitere Vorhaben vor, die in den kommenden Jahren von den ArtIFARM-Bündnispartnern auch über den Rahmen der WIR!-Förderung hinaus realisiert werden können.

Unser Whitepaper sowie mögliche weitere Veröffentlichungen auf Basis der Projektergebnisse geben den Landwirt*innen der Region praxisnahe Informationen an die Hand. Sie können so Einsatzmöglichkeiten einschätzen und die passende Technik gezielt für ihre Betriebe auswählen.

ARD_AI

Autonome drohnenbasierte Detektion von Rehkitzen und Bodenbrütern mittels „erklärbarer künstlicher Intelligenz“¹

Stefan Simm, Thomas Beil, Martin Israel

Ausgangslage und Ziel des Vorhabens

Jedes Jahr sterben allein in Deutschland weit über 500.000 Wildtiere (vor allem Rehkitze, Feldhasen und Bodenbrüter) bei der Frühjahrsmahd. Sie werden zur Zeit der Wiesenmahd zur Futtergewinnung auf den Wiesen geboren. In den ersten drei Wochen sind Rehkitze noch nicht fähig zu flüchten. Deshalb sind sie gut getarnt, geruchlos und bleiben bei Gefahr regungslos am Boden liegen. Gegen natürliche Feinde ist dieses Verhalten ein guter Schutz, gegen Mähmaschinen leider nicht. Aus Sicht des Artenschutzes ist der Verlust von Bodenbrütern besonders dramatisch, da ihre Bestände besonders stark zurückgehen. Die Zerstörung von Nestern und der Verlust von Jungvögeln bei der Mahd und Feldbearbeitung sind eine wesentliche Ursache für diesen Rückgang.

Mittlerweile werden häufig Wärmebilddrohnen eingesetzt, um vor allem Rehkitze vor der Mahd zu finden und in Sicherheit zu bringen. Die erforderliche Technik ist mit hohen Investitionskosten und einem enormen Personalaufwand verbunden. Gleichzeitig ist das Zeitfenster für den Einsatz stark eingeschränkt, da die Tiere mit der vorhandenen Technik nur in den frühen Morgenstunden - bevor die Sonne die Wiesen erwärmt - gefunden werden können. Die Flächenleistung ist entsprechend begrenzt.

Das Projekt „Autonome drohnenbasierte Detektion von Rehkitzen und Bodenbrütern mittels „Erklärender Künstlicher Intelligenz“ (ARD-AI) hat zum Ziel, die drohnenbasierte Rehkitz- und Bodenbrüterrettung zu einem vollautomatischen, autonomen und in den Mähprozess integrierten Verfahren mit maximaler Flächenleistung weiterzuentwickeln. Mit Hilfe moderner Erklärender Künstlicher Intelligenz (XAI), die auf die Fusion von Wärme- und Farbbilddaten der Drohnen angewendet wird, kann die Anzahl der Fehllarme so weit reduziert werden, dass auf eine menschliche Validierung der Fundorte verzichtet werden kann und somit ein autonomer Betrieb überhaupt erst möglich wird. Das im Verbundprojekt zu realisierende System soll die Drohne und die Cloud-Software zur Planung, Steuerung, KI-basierten Detektion und Dokumentation des Prozesses mittels Smartphone-App umfassen. Damit soll der Landwirt in die Lage versetzt werden, Wildtiere wie Rehe und bodenbrütende Vögel auf Wiesen und Äckern ohne Expertenunterstützung hocheffizient und auch tagsüber bei Sonnenschein zu identifizieren, zu differenzieren und vor der Mahd zu schützen. Langfristiges Entwicklungsziel ist die vollintegrierte Drohne mit Ortungsübertragung in den Traktor bzw. das autonome Fahrzeug. Im Rahmen des Projektes soll der „Proof of Concept“ sowie ein Funktionsmuster für diese Anwendung erstellt werden.

Das Team

Das interdisziplinäre Team aus Forschungs- und Industrie-Partnern weist Expertise auf den Gebieten der Bioinformatik, Data Science, Fernerkundung und Landwirtschaft auf. Generell sind die synergistischen Effekte der Arbeitsgruppen aus bioinformatischer, landwirtschaftlicher, Geo-informatischer und angewandter KI-Expertisen in Bezug auf die Auswertung von Bilddatensätze vorhanden. Prof. Dr. Stefan Simm (Institut für Bioanalytik) verfügt über mehr als 10 Jahre Erfahrung auf den Gebieten der Nutzung und Entwicklung von „supervised“ und „unsupervised“ maschineller Lernverfahren. Aktuell implementiert die Gruppe unter anderem Neuronale Netz-Architekturen mit XAI-Komponenten, um notwendige

¹ Autonomous Roe Deer and Ground Breeder Detection – explainable Artificial Intelligence

Informationen zur Krankheitsdiagnose aus Bild-Datensätzen zu extrahieren. Hierbei steht die autonome Klassifizierung von Zelltypen aber auch von Organen aus MRI-Bildaufnahmen mit hoher Präzision im Fokus, um die Vorhersagekraft und Unterstützung in der Klinik zu erhöhen. Die Greifswalder Agrarinitiative e.V. (Thomas Beil ist Geschäftsführer) in dem 40 Landwirtschaftsbetriebe und drei große institutionelle Landeigentümer zusammengeschlossen sind, fördern eine nachhaltige Landwirtschaft. Auf den insgesamt 25.260 ha landwirtschaftliche Nutzfläche rund um die Hansestadt Greifswald, die von GAI-Mitgliedsbetrieben bewirtschaftet werden, wird die Arbeit des Vereins auch durch einen Fachbeirat wissenschaftlich begleitet. Der Geschäftsführer hat langjährige Erfahrung im Projektmanagement an der Schnittstelle Naturschutz – Landnutzung – Nachhaltigkeit. Dr. Martin Israel (thermal DRONES GmbH) hat über das Thema drohnenbasierte Rehkitzrettung promoviert und im Jahr 2010 das erste Rehkitz weltweit mit einer Wärmebilddrohne gerettet. Die thermal DRONES GmbH ist ein Technologie-Startup und wurde aus dem Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt ausgegründet, um die Technologie zur Wildrettung in den Markt zu bringen. Neben zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen und Patenten zum Thema drohnenbasierte Wildrettung verfügt thermal DRONES über langjährige wissenschaftliche und praktische Erfahrung im Bereich Bodenbrüter-Detektion (Israel, Reinhard 2017). Dazu zählt auch die Betreuung von Abschlussarbeiten (z.B. Kiebitz, Großer Brachvogel) und die langjährige Zusammenarbeit mit dem NABU Brandenburg und dem Verein Natur- und Artenschutz Nordostdeutschland e.V. im Bereich Wiesenweihen-Schutz.

Aktueller Arbeitsstand im Vorhaben

Das Vorhaben wurde für April 2025 bewilligt und die Mitarbeiter*innen sind ausgewählt worden und das Kick-Off Meeting hat stattgefunden. Die ersten Datensätze von Bodenbrütern und Rehkitzen wurden gelabelt und an die KI-Gruppe übergeben. Es werden Methoden zur Boundingbox, Point-Detection und Feature-Extraction ausprobiert sowie weitere Verfahren zur Bildschärfen-Verstärkung getestet.

Bisher erreichte Ergebnisse

Auswahl der Mitarbeiter*innen und Abstimmung der Teilprojekte sowie der ersten Schritte und Modelle.

Wirkung des Vorhabens in die Bündnisregion

Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit besteht in diesem Projekt darin, erklär- bare KI-Modelle zur nachvollziehbaren Klassifizierung von Wildtieren und Bodenbrütern und deren Verhalten zu extrahieren. Damit kann z.B. eine Übertragung auf andere Bereiche der Landwirtschaft und Tiergesundheit wie z.B. Stallbeobachtung erfolgen. Darüber hinaus hat ARD-AI das Potenzial, einige der Forschungsmeilensteine als zukünftige Teilprojekte im Bereich der Wildtierrettung und der Weiterentwicklung von XAI-Methoden eigenständig weiterzuführen. Sollte das Funktionsmuster am Ende der Projektlaufzeit einen mittleren Recall von 0,9 und eine mittlere Precision von 0,8 für die Detektion von Wildtieren ohne menschliche Interaktion über den Tag erreicht haben, wird die thermal DRONES GmbH das Funktionsmuster direkt im Anschluss zu einem Prototyp weiterentwickeln. Hierzu sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Die thermal DRONES GmbH verfügt über ein entsprechendes Netzwerk, um diese Entwicklung durchzuführen. Langfristig wird dann unter Einbeziehung weiterer Partner die Integration in die Landmaschine und in ein Farmmanagementsystem angestrebt.

Langfristig wird mit weiteren Partnern die Integration in die Landmaschine und in ein Farmmanagementsystem angestrebt. Die Erfolgsaussichten sind sehr gut, da das Bewusstsein für Tierwohl und Tier- schutz zu einer steigenden Nachfrage führt. Zum dritten Mal in Folge hat die Bundesregierung eine

Förderung für die Anschaffung von Wärmebilddrohnen zur Wildtierrettung ausgeschrieben. Trotz des enormen ehrenamtlichen Engagements der vielen Jäger*innen, Tierschützer*innen und Landwirt*innen können die 2 Millionen Hektar Grünland allein in Deutschland in der kurzen Zeit der Mahd mit bestehender Technik nicht abgesucht werden, weshalb eine Technologie wie ARD-AI dringend benötigt wird. Mit ArtIFARM trägt das Projekt über die Förderphase hinaus zu einem langfristigen Strukturwandel in der Bündnisregion bei, indem es hochqualifizierte und attraktive Arbeitsplätze schafft und die Akzeptanz der Landwirtschaft in der Gesellschaft erhöht.

Einbindung des ArtIFARM-Netzwerkes und Verstetigung der Ergebnisse

Die im Verbundprojekt ARD-AI erzeugten georeferenzierten Daten wie Drohnenbilder und prozessierte Daten wie Wildtierfundorte und landwirtschaftlich bearbeitete Flächen werden in einem für BigDATA4AF kompatiblen Datenformat abgespeichert. Schnittstellen, Datenbank und alle Formate werden mit den Beteiligten von BigData4AF abgestimmt. Eine enge Kooperation mit BigData4AF wird angestrebt, denn die Nutzung der gewonnenen Daten könnte für weitere interdisziplinäre wissenschaftliche Fragestellungen sehr hilfreich sein. Allerdings muss hierbei sowohl der Datenschutz der Nutzer*innen als auch das Intellectual Property von thermal DRONES berücksichtigt werden.

AutARC könnte ein guter Austauschpartner sein, um einerseits aufgenommene Bilddaten zu teilen, aber auch, um verschiedene KI-Ansätze und Prozessierungen zu vergleichen. AutARC hat das Ziel, Steine mit Hilfe eines Convolutional Neural Networks zu detektieren. Ein Austausch sollte aber über die reine Detektion hinaus gehen und sowohl die automatische Verarbeitung der Daten und die transparente Dokumentation für den Landwirt im Fokus haben.

Auch NAIFM hat das Ziel mit Hilfe von XAI verdeckte Merkmale für eine automatische Detektion zu finden. Durch eine generalisierte Betrachtung verschiedener Probleme im landwirtschaftlichen Kontext können leichter Lösungen für weitere, noch nicht formulierte Fragestellungen gefunden und dadurch die wissenschaftliche Entwicklung weiter vorangetrieben werden.

ARD-AI ist ein Vorhaben des WIRI-Bündnisses "ArtIFARM – Artificial Intelligence in Farming". Die Autoren danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (FKZ: 03WIR4813) für die geplante finanzielle Unterstützung.

Status Innovationsmanagement & Gesamtvorhaben

Nach erfolgreichem Abschluss des Vorhabens [Innovationsmanagement4ArtIFARM](#) hat am 01.05.2025 das Vorhaben „[InnoTransfer – Transfer in die Verstetigung](#)“ begonnen.

Dank der priorisierten Vorgehensweise beim PtJ kann so das ArtIFARM-Bündnis ohne zeitliche Verzögerung weiter organisiert und geführt werden – unsere ArtIFARM-Koordinierungs- und Servicestelle bleibt somit organisatorisch und personell wie gehabt bestehen.

Im Rückblick auf die ersten dreieinviertel Jahre der Koordinierungsstelle kann bilanziert werden (Stand 30.04.2025):

- ein neues ArtIFARM-Netzwerk mit derzeit [100 Bündnismitglieder](#)
- Bearbeitung von [25 Projektskizzen](#)
- Begleitung von 8 laufende Vorhaben, 3 abgeschlossene Vorhaben
- Vorbereitung von weiteren 14 Projektskizzen, die bereits vom Beirat befürwortet wurden
- Durchführung von 3 Klausurtagungen
- Organisation von 9 [Netzwerktreffen](#)
- Konzept und Durchführung von 4 Workshops Education4ArtIFARM
- Begleitung von 12 Beiratssitzungen
- Veröffentlichung von zwei [Whitepaper](#) (Statusberichte in [2023](#) & [2024](#))
- Erstellung erweitertes Konzept für die zweite Umsetzungsphase zzgl. Aktualisierung
- 8 Informationsstände auf verschiedenen größeren Veranstaltungen (Hannovermesse, NOERD...)
- über 25 Vorträge über das ArtIFARM-Bündnis
- über 30 Teilnahmen an Veranstaltungen Dritter
- Vergabe und Mitwirkung [Imagefilm](#) zu ArtIFARM
- Auftritt in Social Media ([LinkedIn](#) & [Instagram](#))
- Pflege der umfangreichen [Webseite](#)
- Herausgabe eines regelmäßigen Newsletters
- Verantwortung von diversen organisatorischen Treffen (Lenkungskreis, Verbundkoordinator*innen)
- und natürlich dazu das tägliche Tun einer Servicestelle ...

Das Innovationsmanagement wurde maßgeblich unterstützt durch eine sehr gute, kontinuierliche und strategische Zusammenarbeit vom Vorhaben [Strategieentwicklung](#) (ArtISTRAT).

DANK auch an alle Kolleg*innen aus den Vorhaben, Gremien und dem Netzwerk für die sehr konstruktive Zusammenarbeit, Verlässlichkeit und Ideen zur Weiterentwicklung von ArtIFARM. Nur gemeinsam sind wir stark und das haben wir bisher gut zeigen können!

Das Vorhaben „InnoTransfer“ wird die erfolgreiche Arbeit des Innovationsmanagements von ArtIFARM fortsetzen. Die aufgebauten Kompetenzen und Strukturen sollen erweitert und verstetigt, die Gremien- und Netzwerkarbeit kontinuierlich ohne Zeitverzug fortgesetzt sowie Maßnahmen zur Verstetigung des Bündnisses bzw. der Forschungsaktivitäten gefestigt werden. Dies erfolgt in enger Abstimmung mit den Projekten ArtISTRAT und ArtICONNECT sowie den einzelnen ArtIFARM-F&E-Vorhaben. Ziel ist und bleibt es, das ArtIFARM-Bündnis als Innovationstreiber in der Region auch nach der Förderphase zu etablieren.

Wir freuen uns auf die nächsten drei Jahre und versprechen, auch weiterhin sehr aktiv zu sein.

Das Gesamtbündnis von ArtIFARM hat sich im Jahr 2025 weiterentwickelt. Das Netzwerk konnte weitere Partner dazugewinnen und wir haben jetzt die magische Zahl von 100 überschritten.

Auch wenn das Jahr 2025 für uns und viele unserer Bündnispartner eher ein „Abwartejahr“ war, geht es jetzt für alle gut weiter. Nach einer Phase ohne Fördermittelfreigabe durch den Mittelgeber, bedingt durch die schwierige Bundeshaushaltssituation und einer längeren Verzögerung bei der Bündnis-Evaluierung sind wir jetzt sehr zuversichtlich, dass ab 2026 alle geplanten Vorhaben für die zweite Umsetzungsphase starten und weitere Forschungsergebnisse gewonnen werden können.

Alle befürworteten Forschungsvorhaben für die erste Umsetzungsphase laufen bzw. haben inzwischen die Förderzusagen. Somit konnten alle im ersten Konzept verankerten Vorhaben umgesetzt werden. Das Innovationsmanagement besucht regelmäßig die Vorhaben vor Ort und macht sich so ein Bild vom Fortschritt der Arbeiten. Außerdem stehen die Verbundkoordinator*innen durch die regelmäßigen Treffen im direkten Austausch.

Bereits in 2024 haben wir das erweiterte Konzept für die zweite Umsetzungsphase verfasst und eingereicht. Wir haben verkündet, dass Ende des Jahres 2024 die Verteidigung des Konzeptes ansteht. Dies wurde verschoben. Wir haben das Konzept zum 30.04.2025 noch einmal aktualisiert und erneut zur Prüfung eingereicht. Der Bündnissprecher, Prof. Dr.-Ing. Mark Vehse, hat das Konzept gemeinsam mit ausgewählten Beiratsmitgliedern bzw. Akteur*innen Ende Juni 2025 verteidigt und seit August 2025 haben wir die Förderzusage für die zweite Umsetzungsphase von ArtIFARM. Dies alles war nur möglich durch die kooperative Zusammenarbeit aller Bündnismitglieder und die herausragende Arbeit unseres Beirates und des Vorhabens ArtISTRAT. An dieser Stelle allen ein großes Dankeschön.

In ArtIFARM dürfen wir vielleicht bald das erste Patent feiern. Derzeit läuft die Patentanmeldung und wir gratulieren dem DLR bzw. dem IGD zum gemeinsamen Erfolg.

Auch in diesem Jahr führten wir Netzwerktreffen mit Unternehmensbesichtigungen durch und wir beteiligten uns an anderen Veranstaltungen zur Öffentlichkeitsarbeit von ArtIFARM. Auch konnten wir die Kooperationen mit den regionalen Bauernverbänden intensivieren.

Lesen Sie dazu mehr im kommenden Kapitel!

Bündnisaktivitäten in Zahlen 2025



Highlights 2025

Was seit der letzten Klausurtagung im Jahr 2024 alles passierte:

November / Dezember 2024

Unser achtetes **Netzwerktreffen mit Strategieforum** findet Ende November auf dem Hof Ringenberg in Alt Negentin statt. Drei Unternehmen aus dem ArtIFARM-Bündnis (autosoft - automation & software Günther Tausch GmbH; ATLAS Vorpommern GmbH & thermal DRONES GmbH) stellten sich vor – mit einem kurzen Vortrag und vor allem mit den entsprechenden Produkten zum Anfassen. | Im Dezember konnte sich ArtIFARM auf den **Forschungs- und Transfer Tagen** der Hochschule Stralsund vorstellen. Mit Vorträgen, wissenschaftlichen Postern und unserem KI-Demonstrator zeigten wir, welche konkreten Ziele das ArtIFARM-Bündnis verfolgt. | Ende des Jahres besucht „**Innovationsmanagement meets...**“ **das Vorhaben ArtIGROW** in Greifswald.



Januar /Februar 2025

Im Januar findet ein weiteres ArtIFARM-**Verbundkoordinator*innentreffen** online statt. Die Projektverantwortlichen der ArtIFARM-Vorhaben nutzen hier die Möglichkeit, sich regelmäßig mit den Verantwortlichen der anderen Vorhaben auszutauschen. Dieses Mal wurde besonders über die Aktivitäten in der zweiten Umsetzungsphase diskutiert. | Das Innovationsmanagement präsentiert gemeinsam mit Kolleg*innen aus verschiedenen Vorhaben das Bündnis bei den **Junglandwirt*innen (Generation F1) beim Bauernverband Demmin e.V.** | Ende Januar endet das ArtIFARM-Vorhaben SE4UAS-LW. Die erarbeitete **Machbarkeitsstudie** ist auf der ArtIFARM-Webseite abrufbar. Download der Broschüre „Drohnen in der Landwirtschaft“ unter: <https://artifarm.hochschule-stralsund.de/index.php/3d-flip-book/drohnen-in-der-landwirtschaft/>. | Leser*innen der **BauernZeitung** konnten sich in einem Artikel über ArtIFARM informieren.



März / April 2025

Anfang März nimmt das Innovationsmanagement an der **22. Agrarpolitischen Tagung** zum Thema „Europas Agrarpolitik am Scheideweg“ der Friedrich-Ebert-Stiftung teil. | Wir begrüßen im März ein **neues Beiratsmitglied**. Frau Susanne Wangert ist Agrar- sowie Umweltwissenschaftlerin und derzeit Sprecherin im NABU Bundesfachausschuss Landwirtschaft. | Mitte März werden auf der **ArtIFARM-Webseite zwei neue Tools** eingepflegt. Nun können Interessierte die Aktivitäten des Bündnismanagements per Map verfolgen und zusätzlich auf einer Karte unsere Bündnismitglieder finden. | Ende März hat ArtIFARM die Gelegenheit, die aktuellen Forschungsarbeiten im Bündnis auf der **Agrar-Forschungstour** in Greifswald, organisiert vom Forschungsinstitut für Nutztierbiologie Dummerstorf, vorzustellen.



| Anfang April findet wie jedes Jahr die **Hannovermesse** statt und wir sind wieder mit dabei. Eine Woche lang ist ArtIFARM auf dem Messestand der Hochschule Stralsund mit vertreten. So zeigen wir auf der international wichtigsten Industriemesse Flagge und erhalten bundesweit bzw. weltweit Beachtung. | Ende April schauen wir uns im Rahmen des **Netzwerktreffens die Fraunhofer Institute in Rostock** an. Wir lernen die fachverwandten Forschungsprojekte des Fraunhofer Instituts für Großstrukturen in der Produktionstechnik (IGP) und des Fraunhofer Instituts für Graphische Datenverarbeitung (IGD) kennen. Dazu gehört auch die Fraunhofer Initiative für Biogene Wertschöpfung & Smart Farming. | Stichtag zur **Abgabe des aktualisierten Konzepts** für die zweite Umsetzungsphase ist gleichzeitig der letzte Projekttag für das Innovationsmanagement von ArtIFARM. Als letzte Handlung reichen wir das überarbeitete Konzept fristgemäß ein.



Mai / Juni 2025

Dank der priorisierten Vorgehensweise beim PtJ kann am 01.05.2025 das Vorhaben „**InnoTransfer - Transfer in die Verstetigung**“ beginnen. So steht für das ArtIFARM-Bündnis der Service des Innovationsmanagements ohne zeitliche Verzögerung weiter zur Verfügung. | Als erste Handlung im Projekt steht

der **Umzug** aus den gewohnten Räumen in ein Ersatzgebäude an, da das Gebäude der Fakultät Maschinenbau der Hochschule Stralsund umfassend saniert werden muss. | Auf dem **Campustag 2025** der Hochschule Stralsund präsentieren sich verschiedene Vorhaben von ArtIFARM in der Forschungslounge mit Postern und Demonstratoren. Kolleg*innen, zukünftige Studierende und interessierte Bürger*innen lernen die aktuellen Forschungsarbeiten von ArtIFARM kennen.



| Prof. Dr. Holger Türri präsentiert auf dem **Maschinenbaukolloquium** die Aktivitäten im ArtIFARM-Verbund und erzeugt hochschulintern Aufmerksamkeit. | Ende Juni steht die **Online-Verteidigung** des erweiterten Konzepts an. Unser Bündnissprecher, Prof. Dr.-Ing. Mark Vehse, stellt vor einer Fachjury sowie Vertreter*innen des BMFTR und dem PtJ in einer Präsentation die regionalen Perspektiven und die gesteckten Ziele von ArtIFARM vor und beantwortet gemeinsam mit weiteren ArtIFARM-Akteur*innen die Fragen der Jury. Ab jetzt drücken wir die Daumen...

Juli / August 2024

Für alle überraschend erhalten wir mitten in der Sommerpause den **Bescheid über weitere Fördermittel** für die zweite Umsetzungsphase. Das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) fördert innerhalb ArtIFARM weitere Vorhaben im Umfang von ca. 5,6 Mio. Euro. Die zweite Umsetzungsphase beginnt somit am 01.08.2025. Ab sofort können die vom Beirat befürworteten und priorisierten Vorhaben ihre Anträge beim PtJ/BMFTR zur Förderung einreichen. | Im Sommer besucht das Innovationsmanagement die Vorhaben **NAIFM** und **ARD-AI** im Rahmen der Reihe „Innovationsmanagement meets...“. | Außerdem werden der **Beirat** und der **Lenkungskreis** über die aktuellen Ereignisse zur zweiten Umsetzungsphase und der erfolgreichen Zwischenevaluierung in jeweiligen Meetings informiert.



September / Oktober 2025

Während der **Nacht der Innovationen** im neu eröffneten Deutschen Meeresmuseum hatte ArtIFARM die Möglichkeit, die Forschungen interessierten Bürger*innen vorzustellen. | Ein Vorhaben des Bündnisses, das Vorhaben ARD-AI wird auf der **Innovationswebseite des BMFTR** als besonders herausragend vorgestellt. | Am 01.10.2025 beginnt das **Vorhaben AUTARC** mit den Kooperationspartnern Hochschule Stralsund, Universität Greifswald, LWB Aurel Hagen und LWB Heinrich Heitmüller. | Prof. Dr. Türr (Vorhabenkoordinator von ArtISTRAT) übernimmt die Vorstellung von ArtIFARM in der Webinar-Reihe zur Bioökonomie **BÖ@all 2.0** - BioÖkonomie Region Vorpommern – alle gemeinsam.



November 2025

ArtIFARM ist mit einem Vortrag zum **LAND-FRAUENVERBAND MV e.V.** eingeladen. | Das Innovationsmanagement beteiligt sich am **überregionalen WIRI-Bündnistreffen**. In einer Zukunftswerkstatt werden die weiteren Schritte zur Verstetigung der Bündnisse gemeinsam mit dem BMFTR und dem PtJ erarbeitet. Zudem ist das Bündnis auf der **7. Bioökonomie-Konferenz** in Anklam vertreten.



Unsere zentrale **Klausurtagung 2025** als jährliche Hauptveranstaltung des Bündnisses, wird dieses Jahr an der Universität Greifswald durchgeführt. Es werden die Ergebnisse der abgeschlossenen Vorhaben und die Zwischenergebnisse der laufenden Forschungen vorgestellt. Zusätzlich gibt es am Nachmittag einen Vortrag zur weiteren Zusammenarbeit von Forschungsvorhaben im Rahmen einer möglichen praxisüberführenden Förderung.



„ArtIFARM versteht sich
als Netzwerk, Innovationstreiber und Ankerpunkt
für den Innovationsbasierten Strukturwandel
in der Region zwischen Rügen und der Müritz
sowie der Oder und der Warnow.
Als Innovationsfeld setzt ArtIFARM
auf die Intelligente Landwirtschaft.“



