Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

# Zuwendungsempfänger:
# Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
# Ausführende Stelle:
# Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

# Schlussbericht zum Forschungsprojekt:
# "Digital Agricultural Knowledge and Information System" (DAKIS)


## Verantwortliche Autoren:
## Dr. Ewa Dönitz; Dr. Ariane Voglhuber-Slavinsky



## Förderkennzeichen: FKZ 031B0729G

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen FKZ 031B0729G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.**

# Kurzbericht über das Forschungsprojekt: “Digital Agricultural Knowledge and Information System” (DAKIS)

## Zuwendungsempfänger:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**

**Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**

## Verantwortliche Autoren:

**Dr. Ewa Dönitz; Dr. Ariane Voglhuber-Slavinsky**

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen FKZ 031B0729G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.**

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

DAKIS (Digital Agricultural Knowledge and Information System) zählt zu den bedeutendsten Forschungsprojekten für die Entwicklung einer wissensbasierten Landwirtschaft der Zukunft in Europa. Auf der Basis von Daten aus Modellen, Roboter-, Drohnen- und satellitenbasierten Sensoren soll eine Software entwickelt werden, die Landwirtinnen und Landwirte digital in ihren täglichen Entscheidungen unterstützt. Als Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) stellt der DAKIS-Prototyp eine Innovation dar, da er erstmals die Integration von Zielen zur Verbesserung von Ökosystemleistungen, Biodiversität und Ressourceneffizienz in betriebswirtschaftlichen Entscheidungen ermöglicht. Durch die Nutzung des DAKIS EUS kann die Vision des Projekts DAKIS verwirklicht werden: eine Landwirtschaft der Zukunft, die Umwelt- und Klimaschutz mit Ernährungssicherheit und stabilem Einkommen in Einklang bringt.

Die Entwicklung des DAKIS EUS wurde in 6 Teilprojekten (TP) mit 15 Arbeitspaketen (AP) realisiert, in denen bundesweit 10 Partnerinstitutionen basierend auf ihren Kernkompetenzen beteiligt waren. Die Partner waren: Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (U. Bonn), Forschungszentrum Jülich (FZJ), Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP), Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), Hochschule Osnabrück (HSO), Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB), Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (FH ISI), Europa Universität Viadrina (EUV).

Das Fraunhofer ISI war für folgende Tasks verantwortlich:

Task 6.1.1 Umfeld- und Stakeholder-Analyse: (1) generelle Rahmenbedingungen und externe Einflüsse für die zukünftige Entwicklung der Landwirtschaft; Long- und Shortlist der Trends; (2) Regionen-spezifische Szenarien landwirtschaftlicher Entwicklungspfade;

Task 6.1.2 Anforderungen an Elemente und Funktionen von DAKIS: Workshop mit ca. 20-25 internen und externen Stakeholdern zur Erfassung und Weiterentwicklung der Systemanforderungen;

Task 6.1.3 Regionen-spezifische Lösungsräume für DAKIS: (1) Workshops in Testregionen zur Vertiefung der priorisierten Anforderungen (Elemente und Funktionen) von DAKIS; (2) Regionen-übergreifende und Regionen-spezifische Anforderungen an DAKIS (Lastenheft)

Task 6.1.4 Finalisierung des Pflichtenhefts: (1) Projektziele (Muss-Kriterien, Soll-Kriterien, Muss-nicht-Kriterien); (2) Rahmenbedingungen (z.B. unternehmensspezifische Methoden und Standards); (3) Beurteilung der Machbarkeit des Auftrags

Um die große Heterogenität der Struktur landwirtschaftlicher Betriebe in Deutschland abbilden zu können, wurden Testregionen in Bayern und Brandenburg ausgewählt. In den jeweiligen Testregionen wurden durch das ZALF Projektbeiräte bestehend aus Landwirten, Beratungsstellen, Naturschutz, Politik und Industrie etabliert, um die Projektentwicklung im Hinblick auf Akzeptanz, gesellschaftliche Relevanz und Praktikabilität zu unterstützen. TP1 analysierte die natürlichen Potenziale und gesellschaftlichen Bedarfe an Ökosystemleistungen und Biodiversität, während TP2 und TP3 Sensoren und Modelle für die Erfassung und Simulation dieser Leistungen entwickelten. TP4 integriert die Daten aus den anderen Teilprojekten und entwickelt die Software für den DAKIS Prototyp. TP5 entwickelt und testet neue Anbausysteme, die auf die kleinräumige Heterogenität der Flächen abgestimmt sind, um Ökosystemleistungen und Biodiversität zu fördern. TP6 führt Foresight-Studien, Nachhaltigkeits- und Rechtsbewertungen durch.

Das wichtigste Ergebnis des Projekts ist der DAKIS Prototyp, eine Software Anwendung, die die verschiedenen Teilaspekte des Projekts digital vereinen soll. Der Prototyp ermöglicht die Verarbeitung von Geodaten aus Sensoren, Satelliten, Bodenproben und Betriebsspezifischen Informationen, die teilweise fest integriert oder Interaktive zur Entscheidungsunterstützung im System eingegeben und variiert werden können. Aktuell ist das PatchCrop tool eingebunden, womit große Flächen anhand von Boden- und Erosionskarten in Teilflächen “patches” basierend auf individuellen Bedürfnissen

landwirtschaftlicher Betriebe unterteilt werden können, um gezielte kleinteiligkeit zu fördern und Fruchtfolgen zu optimieren. Das System führt präzise auf, welche Daten und Informationen in welchem Format verwendet werden und wie diese miteinander verknüpft werden. Es integriert Informationen, die auf Schlagebene erhoben wurden, mit Daten, die für Bayern und Brandenburg bzw. auch deutschlandweit verfügbar sind. Der Prototyp wurde für die Nutzung durch Landwirte und auch landwirtschaftliche Berater konzipiert. Deshalb arbeitet der Prototyp auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes, wofür zwei der in TP 1 festgelegten Landschaftsfenster als “Dummy”-Betrieb ausgewählt wurden. Als Zielvariablen wurden die Ökosystemleistungen “Erosionsschutz”, “landwirtschaftlicher Ertrag” und die “Förderung von Biodiversität” festgelegt.

Die Projektarbeit zeichnete sich durch hohe Interdisziplinarität und einen großen Anteil an Innovationsforschung aus. Neben der Softwareentwicklung wurden auch neue Anbausysteme (AP 5.1) und neue Untersuchungsmethoden (AP 1.1, TP 2, AP 5.2) entwickelt und erprobt. Nicht alle entwickelten Ansätze konnten aufgrund des hohen Kapazitätsbedarfs für Programmierarbeiten in den DAKIS Prototyp integriert werden. Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, wurde in der zweiten Projekthälfte ein Use-Case-Ansatz eingeführt, indem die Softwareentwicklung anhand konkreter Anwendungsbeispiele, parallel zur Prototypentwicklung, modular fortgeführt wurde. Hervorzuheben sind z.B. die am ZALF entwickelten Analysemethoden zur Standortermittlung und Bewertung von potentiellen Agrarumweltmaßnahmen wie Hecken, Pufferstreifen und Insektenwällen (Beetle Banks). Sowie ein Tool zur Planung von Fahrspuren in Hangflächen, um streifenförmige Agrarumweltmaßnahmen störungsfrei in die Bewirtschaftung zu integrieren. Ergänzt wurden diese Tools durch die 3D Web App EROSPOT, die zur Visualisierung von Erosionsrisikogebieten (Hotspots) und zur Bereitstellung potentieller Standorte für Beetle Banks auf Landschaftsebene entwickelt wurde. Das einzelbetriebliche, bio-ökonomische Modell MODAM wurde in das DAKIS System integriert, so dass konkrete Betriebe mit ihren Feldern und den Informationen und Bewertungen aus den vorgenannten Tools (Erosionsrisiken, potentielle Standorte für Hecken, Beetle Banks und Blühstreifen) simuliert und optimiert werden können. Dabei werden die aktuellen Förderprogramme berücksichtigt, um letztlich Empfehlungen für die betriebsspezifisch optimierte Umsetzung von Agrarumwelt- und Klima-Programmen auszusprechen bzw. Präferenzen abhängige Szenarien anzubieten. Weil Klimawandel, Preisentwicklungen, politische Entscheidungen und Konsumenteneinstellungen die Bedingungen für die Landwirtschaft ständig verändern, wurden Zukunftsstudien durchgeführt und vor diesem Hintergrund die Nachhaltigkeitswirkungen von digitalen Tools wie dem DAKIS bewertet. Dazu gehörte auch die Erfassung rechtlicher Erfordernisse. Zusammenfassend bilden die Ergebnisse der ersten Projektphase die Grundlage für die Weiterentwicklung des DAKIS EUS als betriebsfähiges und automatisiertes System mit vielen Anknüpfungspunkten an die Industrie, Beratung und Politik. (Mouratiadou et al. 2023).

Darüber hinaus wurden in der Projektlaufzeit ca. 60 Publikationen in begutachteten Zeitschriften veröffentlicht, der überwiegende Teil davon ist “Open Access”. Sechs wissenschaftliche Bücher bzw. Buchkapitel wurden veröffentlicht. Die Beteiligung an Konferenzen betrug 69 Präsentationen auf internationalen und nationalen Wissenschaftstagungen. Es wurden 4 Promotionen beendet, eine weitere wird 2025 abgeschlossen. Neben den wissenschaftlichen Publikationen und Abschlussarbeiten war das Konsortium an Messen aktiv beteiligt (u.a. Grüne Woche, Agritechnika, Digital Gipfel) und hat ca. an 50 Workshops und Veranstaltungen teilgenommen und ca. 40 mediale Beiträge und Video Clips veröffentlicht. Weitere Infos zu den verschiedenen Outputs sind hier zugänglich: https://adz-dakis.com/output/.

# Eingehende Darstellung über das Forschungsprojekt: “Digital Agricultural Knowledge and Information System” (DAKIS)

## Zuwendungsempfänger:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**

**Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**

## Verantwortliche Autoren:

**Dr. Ewa Dönitz; Dr. Ariane Voglhuber-Slavinsky**

**Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen FKZ 031B0729G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.**

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

# Inhaltsverzeichnis

**1. Ursprüngliche Fragestellung und wissenschaftlicher Hintergrund ..... 1**
**2. Gewählter Lösungsansatz und Projektziele ..... 2**
**3. Meilensteine der vom ZALF bearbeiteten Teilprojekte ..... 4**
**4. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse ..... 4**
4.1 Teilprojekt 1: Standortbezogene Nutzungspotenziale und gesellschaftliche Bedarfe ..... 4
4.2 Teilprojekt 2: Daten und Sensorik - Echtzeitmonitoring von Agrarökosystemen ..... 6
4.3 Teilprojekt 3: Optimierung der Anbau- und Betriebsplanung ..... 7
4.4 Teilprojekt 4: Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems ..... 9
4.5 Teilprojekt 5 DAKIS Implementierung ..... 10
4.6 Teilprojekt 6 Vorausschauende Bewertung und rechtliche Prüfung ..... 11
4.7 DAKIS Projektkoordination und Management ..... 12
**5. Änderungen im Arbeitsplan/Meilensteine ..... 13**
**6. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises ..... 14**
**7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit ..... 14**
**8. Anpassung/Weiterentwicklung der Vision ..... 15**
**9. Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen ..... 15**
**10. Veröffentlichungen der Ergebnisse ..... 16**
10.1 Peer-Review Journal Artikel ..... 16
10.2 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer, Software Pakete, Web-Anwendungen, Schutzmarken ..... 19

# 1. Ursprüngliche Fragestellung und wissenschaftlicher Hintergrund

Die fortschreitende Digitalisierung der Landwirtschaft (4.0) geht Hand in Hand mit der Erhebung von großen Datenmengen (Osinga et al., 2022). Zeitlich und räumlich hochauflösende und standortspezifische Ertrags-, Boden- und Klimadaten werden z.B. durch Hightech-Traktoren und Erntemaschinen mit RTK-GPS, Satelliten, Drohnen oder Bodensensoren bzw. Wetterstationen ortsgenau erhoben (Wolfert et al. 2017). Eine strukturierte Verwaltung und Verarbeitung dieser Daten soll landwirtschaftliche Produktionsketten optimieren (Kamilaris et al. 2017). Die stetig steigende Qualität verfügbarer Daten und deren Verarbeitung in komplexen Algorithmen ermöglicht zunehmend den Einsatz von Precision Farming.

Jedoch werden digitale Technologien in der Landwirtschaft zurzeit vor allem mit dem Ziel der Ertragssteigerung eingesetzt. Das Potenzial der Digitalisierung für ein nachhaltiges Management von Agrarlandschaften sowie die Quantifizierung und Vermarktung von Ökosystemleistungen (ÖSL) wird gegenwärtig nicht realisiert (Kliem et al., 2023).

Dabei können digitale Methoden nicht nur für gängige Maßnahmen wie die teilflächenspezifische Düngung, sondern auch für die Verortung, Planung und Umsetzung von Agrarumweltmaßnahmen wie Hecken und Pufferstreifen eingesetzt werden und damit die Förderung von ÖSL und Biodiversität unterstützen (Sturm et al. 2022). Die auf Feldebene gewonnenen Daten können dazu genutzt werden, Zonen (“Patches”) mit geringer Profitabilität oder hohen Gefährdungen durch bspw. Wasser- und

Winderosion zu identifizieren und durch Landnutzungsänderungen oder gezielte Bestandsmanagement-Maßnahmen alternativ zu bewirtschaften (Basso et al. 2021). Auf ehemals einheitliche bewirtschafteten Ackerschlägen kann durch das Anbauverfahren Patch Cropping somit ein Mosaik aus unterschiedlichen standörtlich angepassten ein- und mehrjährigen Nutzpflanzen entstehen (Donat et al. 2022; Khanna et al. 2022). Die Bewirtschaftungskooperationen werden komplett neu definiert und die Trennung unterschiedlicher Landnutzungssysteme (z.B. Acker, Grünland, Wald) wird zum Teil aufgelöst.

Gesellschaftlich und politisch gefordert ist zudem eine ergebnisbasierte Inwertsetzung der Agrarumweltmaßnahmen (Pe`er et al. 2020) sowie Konzepte, um diese durch öffentliche oder private Mittel zu fördern (Geppert et al. 2023). Diese Funktionen werden jedoch bisher nicht angemessen durch praxistaugliche FMIS (Farm Management Information Systems) bereitgestellt (Melzer et al., 2023).

Das Ziel des DAKIS-Projekts bestand deshalb darin, ein neues Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) zu entwickeln, das standort- und ziel-spezifische Anforderungen an Produktion, ÖSL und Biodiversität kleinräumig erfasst, in Einklang setzt und entsprechende Managementempfehlungen gibt. Dementsprechend war die ursprüngliche Fragestellung, wie ein solches EUS aufgebaut sein muss. Für die Bereitstellung von ÖSL und die Förderung von Biodiversität ist es notwendig, dass unterschiedliche Akteure über die Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes hinweg miteinander kooperieren. Zudem muss gewährleistet sein, dass der Aufwand für Maßnahmen zur Förderung verschiedener ÖSL und der Biodiversität für die Betriebe wirtschaftlich tragbar ist, oder entsprechende finanzielle Kompensationen bereitgestellt werden. Daher untersuchte das Projekt auch, ob durch gezielte Kooperationen und transparente Kommunikation die Bereitstellung von ÖSL und Biodiversität verbessert werden kann, und wie hoch die gesellschaftliche Nachfrage nach diesen Leistungen tatsächlich ist.

# 2. Gewählter Lösungsansatz und Projektziele

In der Konzeptionsphase wurde durch einen Foresight-Workshop unsere Vision für das Agrarsystem der Zukunft entwickelt und die daraus resultierenden Anforderungen an das DAKIS EUS ermittelt. Diese Ergebnisse wurden in drei Workshops in Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Bayern mit relevanten regionalen Akteuren aus Forschung, Landwirtschaftsberatung, Bauernverbänden, Politik, Naturschutz und landwirtschaftlicher Praxis diskutiert und weiterentwickelt. Basierend darauf wurden Testregionen in Brandenburg und Bayern ausgewählt, inklusive spezifischer Landschaftsfenster und Versuchsstandorte. Der gewählte Co-Design-Ansatz wurde durch die Einrichtung regionaler Projektbeiräte verstetigt. Parallel dazu wurde eine Literaturübersicht durchgeführt, um bestehende digitale landwirtschaftliche Tools zu identifizieren, die für DAKIS relevant waren. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Literaturstudie und den Erkenntnissen aus den Stakeholder-Workshops erfolgte die Entwicklung der DAKIS-Architektur gemäß einem Design-Thinking-Ansatz. Regelmäßige Treffen der Konsortien und thematische Arbeitsgruppen wurden organisiert, um eine effektive Zusammenarbeit und eine fundierte konzeptionelle und technische Entwicklung sicherzustellen. Das DAKIS System bündelt verschiedene Komponenten. Fernerkundungs- und in-situ-Sensortechnologie wird zur Messung des Ertragspotenzials und ökologischer Rahmenbedingungen in hoher räumlich-zeitlicher Auflösung eingesetzt. Gebiete mit hohem Potenzial für Ökosystemdienstleistungen (ÖSL) und Biodiversität werden über geographische Informationssysteme (GIS) kartiert. Ein Reasoner wird dann zur Identifizierung von Management-Optionen eingesetzt, die Synergien in der Bereitstellung verschiedener ÖSL und Biodiversität erzeugen. In einem nächsten Schritt werden diese Kombinationen hinsichtlich ihrer Produktions-, Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialverträglichkeitseffekte mittels Modellierung bewertet. Die Partizipative Nachhaltigkeitsbewertung (SIA) befasst sich mit gesellschaftlichen Präferenzen hinsichtlich der Annahme verschiedener Managementoptionen sowie mit Umweltwirkungen und sozialen Effekten von zu erwartenden strukturellen Veränderungen des Agrar- und Ernährungssystems (Abbildung 1, Mouratiadou, et al. 2023).

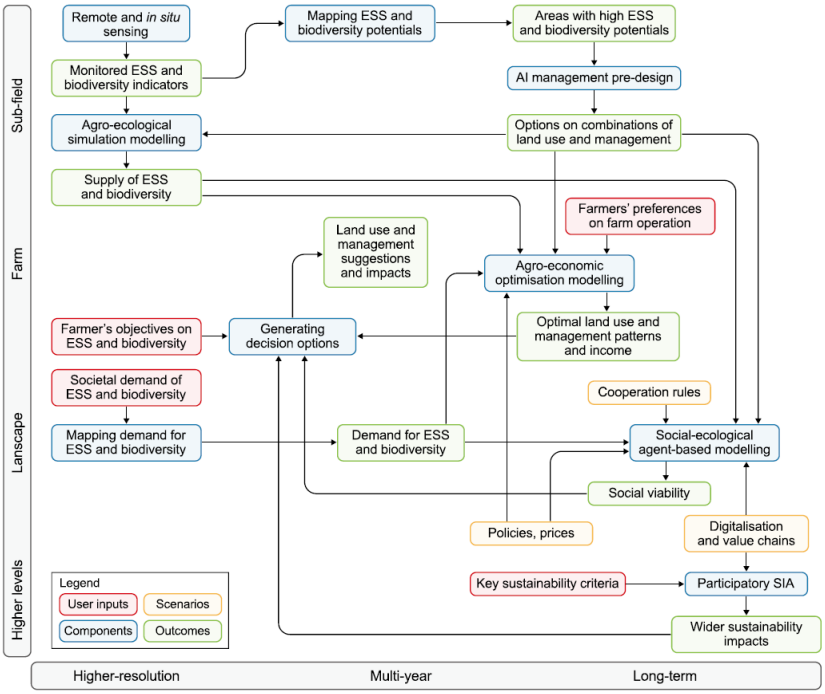


**Abbildung 1:** Übersicht über die DAKIS User inputs, Komponenten, Scenarios und generierte Ergebnisse geordnet nach räumlicher und zeitlicher Skala (Grafik aus Mouratiadou et al., 2023)

Durch die Diskussion wurde ein "Nested Approach" entwickelt, wobei unterschiedliche Disziplinen, auf Disziplin spezifischen Skalen (Feld, Betrieb, Landschaft, Region) um ein "Landschaftsfenster" herum forschen (Abbildung 2).

Die Ziele des DAKIS-Projekts waren die Folgenden:

- Integration von Ökosystemleistungen (ÖSL), Biodiversität und Ressourceneffizienz in den Entscheidungsprozess der Landwirte.
- Die Echtzeitdokumentation, Prognose und Steuerung der teilflächenspezifischen Auswirkungen landwirtschaftlicher Aktivitäten.
- Die Optimierung von Anbausystemen hinsichtlich ÖSL, Biodiversität und Ressourceneffizienz entsprechend spezifischer Zielsetzungen.
- Die Entwicklung neuer Orientierungsziele für die Betriebsplanung und Unterstützung komplexer Entscheidungsprozesse.
- Die Etablierung neuer Kommunikationswege zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen Landwirten, Verbrauchern und der Gesellschaft.

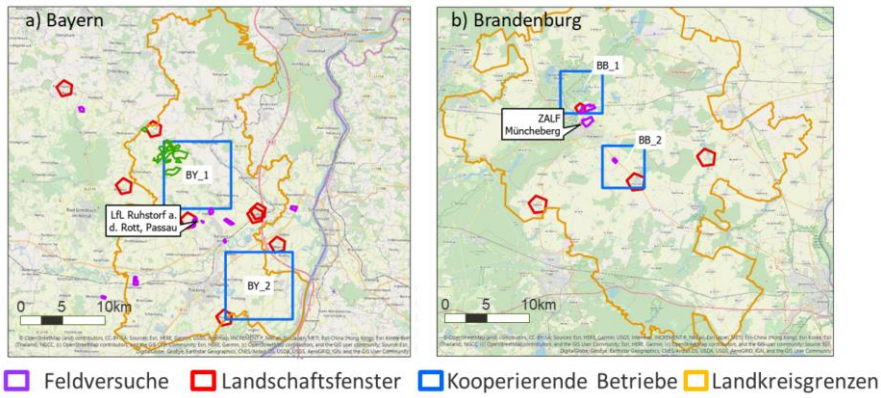


**Abbildung 2:** Nested-Approach mit unterschiedlichen Forschungsaktivitäten

# 3. Meilensteine der vom ZALF bearbeiteten Teilprojekte

- M1-1-1: Analyse von relevanten ÖSL und Biodiversität in den zwei Testregionen. J1 Q4
- M1-1-2: Räumliche Verteilung von potentiell relevanten ÖSL und Biodiversität in den zwei Testregionen. J4 Q1
- M1-1-3: Erarbeitung eines Teilflächen spezifischen Maßnahmenkatalogs. J4 Q4
- M1-2-1: Räumliche Verteilung der gesellschaftlichen Nachfrage nach ÖSL in den Testregionen. J1 Q4
- M1-2-2: Räumliche Verteilungsmuster für die Optimierung von ÖSL und Biodiversität. J4 Q4
- M1-2-3: Test des Honorierungssystems im DAKIS in mindestens einer Testregion. J5 Q2
- M3-1-1:
    - Hochaufgelöste Zeitreihen des Blattflächenindex (BFI) und Relationen von BFI zu Bodeneigenschaften ermittelt. J4 Q1
    - Indikatoren zur Bewertung von ÖSL charakterisiert. J5 Q1
    - Planung der Modellierung und des Monitorings von Indikatoren abgestimmt (mit TP1, TP3, TP6) und abgeschlossen. J1 Q4
- M3-1-2: Modul zur Bewertung von Anbauverfahren mit und ohne ÖSL & Biodiversität. J2 Q2
- M3-1-3: Modul zur Fruchtfolgeplanung auf Basis gesamtbetrieblicher Optimierung der Honorierung ÖSL und Biodiversität. J4 Q4
- M3-1-4: Modul zur Investitionen eines Betriebs zur Bereitstellung von ÖSL und Biodiversität. J5 Q1
- M3-1-5: Überprüfung von Bieterverfahren ist erfolgt. J5 Q4
- M4-2-1: Anforderungsanalyse liegt vor. J1 Q1
- M4-2-2: ZALF Klickbarer Prototyp des Interfaces liegt vor. J4 Q4
- M4-2-3: Funktionaler Prototyp des Interfaces liegt vor. J5 Q2
- M4-2-4: Finales Interface liegt vor. J5 Q4
- M4-2-5: Konkrete “decision-support rules”für einzelne Use-cases liegen vor. J5 Q4
- M4-2-6: MIRO- GUI ist erstellt. J5 Q4
- M4-2-7: Schnittstelle MODAM, MIRO GUI um DAKIS Prototyp erstellt. J5 Q4
- M5-1-1: Auswertung dreijähriger Feldversuche auf der Agroforstfläche. J4 Q2
- M5-1-2: Auswertung dreijähriger Feldversuche auf einem Großschlag. J5 Q1
- M5-1-3: Stakeholder-Workshop durchgeführt. J5 Q1
- M6-2-1: Übersicht über Nachhaltigkeitsziele auf verschiedenen Skalenebenen erstellt; Wichtung vorgenommen. J2 Q2
- M6-2-2: Nachhaltigkeitsbewertung operabel im DAKIS. J5 Q4
- M6-2-3: Indikatoren bestimmt. J5 Q1
- M6-2-4: Fahrplan für regelmäßige Anwendung der Nachhaltigkeitsbewertung im DAKIS liegt vor. J5 Q4

# 4. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

## 4.1 Teilprojekt 1: Standortbezogene Nutzungspotenziale und gesellschaftliche Bedarfe

Das Hauptziel von Teilprojekt 1 war die Durchführung einer detaillierten Standortcharakterisierung und die Analyse des gesellschaftlichen Bedarfs an Ökosystemleistungen (ÖSL) sowie der Biodiversität. Hierzu wurden vier spezifische Landschaftsfenster von je 5x5 km in Brandenburg und Bayern

ausgewählt. Diese Fenster zeichnen sich durch signifikante Unterschiede hinsichtlich ausgewählter Indikatoren aus, vor allem in Bezug auf Betriebs- und Flächengröße sowie das Geländerelief.

Ausgehend von einer Literaturrecherche und Expertengesprächen, wurden fünf ÖSL - Erosionsschutz, Biomasseertrag, Biodiversität, Wasserhaltevermögen des Bodens und Kohlenstofffixierung im Boden - für eine vertiefende Analyse ausgewählt.

Im Arbeitspaket 1.1 („kleinskalige Standortcharakterisierung“, ZALF) wurde die Standortvielfalt auf Betriebs- und Feldniveau untersucht. Aus den gesammelten standortinternen und -übergreifenden Daten sowie geophysikalischen Bedingungen konnten mittels eines Modells Erosionshotspots berechnet werden. Dieser erfolgreiche Ansatz ebnete den Weg für das Kurzprojekt "EROSPOT", das vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert wurde. Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Programm entwickelt, das Erosionskarten und Risikozonen für Bodenerosion (Hotspots) für beliebige Einzugsgebiete in Bayern berechnen kann. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden in der Web-App "EROSPOT" bereitgestellt und stehen nun zur Planung von Erosionsschutzmaßnahmen zur Verfügung. Aufgrund des großen medialen Erfolgs wurde EROSPOT als Wortmarke angemeldet und geschützt. Zusammen mit dem FMIS-Hersteller "Farmfacts" wurde ein Arbeitsablauf und Schnittstellen entwickelt, die es ermöglichen, die Erosionskarten auf GPS-gesteuerte (autonome) Traktoren/Drohnen zu übertragen und Pufferstreifen anzulegen. Diese Methode zur Berechnung von Erosionshotspots fließt direkt in die Entwicklung des DAKIS EUS ein, insbesondere in den Use-Case "Grasland-Pufferstreifen".

Zusätzlich wurde im AP 1.1 in Kooperation mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) eine umfangreiche Literaturrecherche zu bestehenden EUS, vor allem zu kommerziell genutzten "Farm Management Information Systems" (FMIS), durchgeführt (Melzer et al., 2023). Dabei wurde auch die Nachfrage der Landwirte nach bestimmten FMIS-Funktionen analysiert, basierend auf Antragsdaten eines Förderprogramms. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse bilden eine wichtige Grundlage für die Entwicklung des DAKIS EUS. Hervorzuheben ist der ermittelte Bedarf an Funktionen zur Standortermittlung und ökonomischen sowie ökologischen Bewertung von Agrarumweltmaßnahmen (in Übereinstimmung mit der DAKIS Vision), die an Agrarumweltprogramme geknüpft sind und für die eine Nachweispflicht zum Erhalt von Fördergeldern besteht.

In der Kostenneutralen Verlängerung des Projekts wurde auf den in AP1.1 ermittelten Bedarfe für FMIS und den ermittelten Erosionshotspots ein Tool entwickelt, um Fahrspuren für Traktoren und Feldroboter unter Berücksichtigung der Geländeeigenschaften (Flächen in Hanglage) zu berechnen. Basierend darauf wurde ein Algorithmus entwickelt, um potentielle Standorte für Beetle Banks (Insektenwälle) innerhalb von Ackerflächen zu identifizieren. Ergebnisse wurden in der EROSPOT Web-App bereitgestellt. Eine entsprechende Publikation wurde eingereicht. Diese enthält ein umfassendes FMIS Konzept zur zukünftigen Ausgestaltung und Digitalisierung ergebnisorientierter Fördermaßnahmen zur nachhaltigen Optimierung von Ökosystemleistungen (Melzer et al. 2025). Das Konzept soll in der Anschlussförderung realisiert werden. Dazu wurden sowohl für die Berechnung von Erosionskarten und Hotspots, als auch für die Fahrspuranalyse im Gelände und das Tool zur Ermittlung von potentiellen Beetle Banks, Softwarepakete veröffentlicht (Melzer und Thakur 2024; Melzer, Mukshinova und Lechler 2025). Die in der DAKIS Vision dargestellte Diversifizierung der Landwirtschaft durch kleinteilige Strukturen konnte somit am Beispiel einer konkreten ÖSL (Erosion) und einer Agrarumweltmaßnahme (Beetle Bank) technisch umgesetzt werden.

In Arbeitspaket 1.2 ("Bedarfsanalyse und optimierte Verortung im Landschafts-/ Regionskontext", ZALF) wurde die zusammenführende Erfassung und Modellierung von Angebot und Nachfrage nach Ökosystemleistungen konzeptionell entwickelt (Shaaban et al. 2021). In einer GIS-basierten Online-Umfrage zur Einschätzung des aktuellen Angebots und des Bedarfs an ÖSL konnte festgestellt werden, dass gesellschaftlich nachgefragte ÖSL das Angebot deutlich übersteigen (Schwartz et al. 2021). Weiterhin wurden auf der Grundlage von Geodaten und gesellschaftlichen Einschätzungen Karten erstellt, die Coldspots mit besonders hohem Bedarf an Maßnahmen zur Verbesserung der ÖSL

identifizieren (Schwartz et al. 2022). Ein agentenbasiertes Modell (ABM) wurde entwickelt, um mögliche Konfliktfelder themenspezifisch zu verorten und zu analysieren (Shaaban 2023). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine Verbesserung der ÖSL von der Gesellschaft gewünscht wird.

Das DAKIS EUS kann dazu beitragen, die für diese Verbesserung notwendige Zusammenarbeit verschiedener Akteure auf Landschaftsebene zu vereinfachen, indem alternative Landnutzungsmöglichkeiten visualisiert werden. In der Zusammenarbeit mit SP6 konnte gezeigt werden, wie die Kombination von Zukunftsszenarien mit ABM genutzt werden kann, mögliche Synergien bzw. Konflikte frühzeitig zu erkennen und durch räumliche Neuorganisation zu optimieren (Shaaban et al. 2023).

## 4.2 Teilprojekt 2: Daten und Sensorik - Echtzeitmonitoring von Agrarökosystemen

Das Ziel von Teilprojekt 2 (TP2) bestand darin, Monitoringsysteme zu entwickeln und zu testen, die eine kontinuierliche Erfassung und Darstellung der Landschaft und ihrer kleinräumigen Heterogenität in den Testregionen ermöglichen. Für die Auswahl der Versuchsflächen in der Jungmoränenlandschaft Brandenburgs wurden charakteristische Merkmale verschiedener Nutzungstypen berücksichtigt. Die untersuchten Grünlandstandorte umfassten einen stark grundwasserbeeinflussten Standort in Paulinenaue (Havelland, Versuchsfläche des ZALF) und eine, zum Teil vernässte, Grundmoränenfläche in Wandlitz, nördlich von Berlin. Darüber hinaus wurden Kooperationen mit landwirtschaftlichen Betrieben in Großmutz (Agroforstfläche) und Müncheberg-Dahmsdorf (Patch-Anbau) etabliert. Alle Standorte weisen kleinräumig eine starke Heterogenität der Bodeneigenschaften auf.

Arbeitspaket 2.1 ("Boden- und luftgestütztes On-Farm-Monitoring", Uni Bonn) umfasste Messungen auf der Agroforstfläche und den Grünlandversuchsflächen im Zeitraum von 2020 bis 2023. Zur Grundlage der Analyse wurden Bodenkartierungskampagnen durchgeführt, die die räumliche Heterogenität der Bodeneigenschaften innerhalb der Versuchsflächen darstellten. In Zusammenarbeit mit AP 2.2. und AP 5.3 wurden Flugkampagnen mit UAV-getragenen Sensoren durchgeführt. Diese erfassten Informationen über die Heterogenität der Nutzpflanzenbestände (Bestandshöhe, Biomasse und Leaf Area Index (LAI)), die Rückschlüsse auf die erwartete Ertragsqualität und -menge zuließen. Zudem wurde ein Netzwerk von Boden- und Luftsensoren installiert, das kontinuierlich Daten zu Bodenfeuchtigkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Lichtintensität erfasste (Habib-ur-Rahman et al., 2022). Zur Validierung der sensorbasierten Datenerfassung wurden Feldbeobachtungen und Messungen von Biomasse, Pflanzenhöhe und Artenzusammensetzung auf den untersuchten Flächen durchgeführt (Mosebach et al. 2022). In Zusammenarbeit mit dem ATB wurde eine Methode zur Bilderkennung mithilfe von Deep-Learning-Ansätzen zur Erfassung der floristischen Diversität entwickelt und auf den Grünlandversuchsflächen getestet. Auf der Grünlandfläche in Wandlitz wurden in Zusammenarbeit mit AP 2.3 Mikrofone mit SD-Kartenspeichern installiert, um das Auftreten von Heuschreckenarten akustisch zu erfassen. Die Auswertung erfolgt mit Unterstützung von AP5.2 (HNEE), wobei erste Analysen zur Erkennung von Stridulationsmustern bereits mit externen Datensätzen durchgeführt wurden.

Arbeitspaket 2.2 ("Satellitengestütztes Monitoring", FZJ) umfasste zu Beginn des Projekts Studien zur Kopplung von Fernerkundung und Pflanzensimulationsmodellen (Tewes et al., 2020). Die in AP 2.1 eingesetzten Sensoren zur Messung von Bodenfeuchtigkeit und -temperatur (SoilNet-System) wurden vom FZJ konzipiert und gewartet. Des Weiteren wertete das FZJ Satellitendaten aus und erstellte daraus Zeitreihen verschiedener biophysikalischer Pflanzenvariablen für Brandenburg sowie Zeitreihen des Blattflächenindex (LAI) für die in TP 1 festgelegten Landschaftsfenster (Verma et al. 2022). Die Berechnungsmethoden wurden 2022/2023 durch Strahlungstransfermodelle ersetzt, die die Berechnung des Blattflächenindex für verschiedene Sensoren und Ackerpflanzen verallgemeinern. Die Erfassung durch PlanetScope-Daten in 3m räumlicher und täglicher zeitlicher Auflösung wurde

getestet. Außerdem wurden Strategien zur Verwendung von InVeKoS-Daten im DAKIS-Prototyp erstellt. Drohnenmessungen mit einem LiDAR-Sensor wurden verwendet, um die Biomasse zu bestimmen (Montzka et al. 2023).

Im Arbeitspaket 2.3 (Monitoring-Netzwerk/Sensorik, IHP) wurden neue Sensoren und Netzwerktechnologien entwickelt, um die in AP2.1 und AP2.2 mit etablierten Sensoren erfassten Daten zu ergänzen. Zunächst wurden verschiedene µC-basierte Sensorplattformen konzipiert, entwickelt und hergestellt. Diese dienten als Bausteine für eine Vielzahl verschiedener drahtloser, solarbetriebener Sensorknoten zur Erfassung von meteorologischen Parametern und Bodenfeuchtigkeit.

Im Laufe des Projekts wurden dann den jeweiligen Anforderungen entsprechende heterogene drahtlose Sensornetze für die Forschungsflächen in Großmutz, Müncheberg/Dahmsdorf und Mühlenbeck (Grünland) entworfen und installiert. Die Sensornetze werden seit der Installation praktisch getestet und gewartet. Dabei kamen bis zu 52 Sensorknoten zum Einsatz. Es wurden Softwaremethoden und -parameter untersucht und Reichweitentests mit verschiedenen Antennen, Datenraten und Sendeleistungen durchgeführt und ausgewertet, um geeignete Übertragungsparameter auszuwählen, die die Kommunikation zuverlässiger machen und gleichzeitig den Stromverbrauch senken (Frohberg et al. 2022). Zudem wurde eine Infrastruktur eingerichtet, die es ermöglicht, Sensor-Messwerte in Echtzeit vom Erfassungsort auf dem Feld zur DAKIS IO-Datenbank weiterzuleiten und so eine schnelle Auswertung zu ermöglichen. Zur Steuerung, Überwachung und Wartung der Sensornetze wurde ein Monitoring-Dashboard programmiert. Zur Unterstützung der akustischen Erfassung der faunistischen Biodiversität (am Beispiel Heuschrecken, siehe AP 2.1 ) wurde an einer Funkschnittstelle zwischen IHP Sensorknoten und einem kommerziellen Audio-Rekorder (Song Meter Mini von Wildlife Acoustics) gearbeitet, die es ermöglichen soll, Tonaufnahmen nicht nur durch statische Zeitpläne, sondern auch durch externe Events (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Helligkeit, Geräusche) steuern zu können.

Insgesamt erstellte Arbeitspaket 2 eine Datenbank mit wichtigen standortspezifischen Daten aus den Versuchsflächen. Die Ergebnisse der Feldversuche erlauben es uns zu ermitteln, inwieweit die aktuell üblichen Methoden zur Untersuchung von Nutzpflanzenbeständen und Artenvorkommen in der Zukunft durch sensorgestützte Erfassung ergänzt oder möglicherweise sogar ersetzt werden könnten.

## 4.3 Teilprojekt 3: Optimierung der Anbau- und Betriebsplanung

Ziel des Teilprojekts 3 war es, auf Basis der in Arbeitspaket 2 generierten Daten Empfehlungen für eine auf den Standort angepasste Anbau- und Betriebsplanung zu generieren, die ökonomische Zielsetzungen und die Verbesserung der ÖSL vereinbart.

Im Arbeitspaket 3.1 („Betriebsökonomik: Strategisch/ Operational“ (ZALF)) wurde die ökonomische Analyse der Use-Cases im betrieblichen Kontext vorbereitet. Grundlage dieser Analyse ist das einzelbetriebliche Betriebsmodell MODAM (Zander, Kächele 1999), das auf Basis der mathematischen Programmierung eine optimale Ressourcenallokation und Produktionsplanung vorschlägt. Das Modell wurde für den Einsatz im DAKIS Kontext angepasst und erweitert, um den Anforderungen eines automatisierten Datentransfers und der notwendigen Flexibilität für den Einsatz in unterschiedlichen Betrieben gerecht zu werden. Dazu gehören standardisierte Datenschnittstellen für standortspezifische Ertrags- schätzungen und Ökosystemleistungen für unterschiedlichste Bewirtschaftungsvarianten, die Verknüpfung mit ökonomischen Partialanalysen als Grundlage für das Betriebsmodell sowie die Einbindung von Standortanalysen im Hinblick auf die Platzierung von Hecken und Blühstreifen u.a. als Erosionsschutzmaßnahmen. Konkret wurde das Modell in den folgenden Punkten weiterentwickelt:

- Modularisierung des Modells: Vor der Modellausführung prüft ein vorgeschaltetes Modul die notwendigen Module basierend auf den für einen bestimmten Betrieb eingegebenen Daten. Es stellt die erforderlichen Module zusammen und wählt Schnittstellen und Zielfunktionen aus.

- Linearisierung: Die ursprüngliche Version von MODAM war ein nichtlineares Modell, das immer wieder auf die Globalität der Lösung überprüft werden musste. Das kann aber nicht automatisch mit GAMS (General Algebraic Modeling System = Modellierungssprache) erfolgen und erfordert Zeit und die Kompetenz eines erfahrenen Wissenschaftlers. Deshalb war die Linearisierung ein wichtiger Schritt für die Verwendung im DAKIS EUS.
- Entwicklung eines Agroforst-Rechners (in Kooperation mit der BTU Cottbus), um die technischen Koeffizienten von Agroforstelementen für die Darstellung in MODAM zu bestimmen.
- Multi-Farm Ansatz, der die Planung von Maßnahmen ermöglicht, die in Kooperation von mehreren Betrieben durchgeführt werden (z.B. die Anlage von Hecken).
- Multi-Period Ansatz: Entwicklung einer Auswahlmöglichkeit zwischen einer statischen und einer dynamischen Version des Modells als Voraussetzung für die Berücksichtigung von längerfristigen Investitionsentscheidungen bei der Betriebs-/Feldoptimierung (z.B. Hecken/Agroforst).
- Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche auf der Basis der als Freeware bereitgestellten Applikation GAMS-MIRO. Diese GUI (Graphical User Interface) erlaubt den Nutzern, die Basisdaten des Modells (z.B. Preise, Erträge, oder Prämien) einzusehen, zu modifizieren und neue Modellläufe zu starten und auf dieser Basis verschiedene Szenarien zu vergleichen.

Das Modell und die GUI wurden in einem Projektbeiratstreffen vorgestellt und das Konzept und die Darstellung in der GUI intensiv diskutiert. Die hier entwickelte GUI bedarf noch weiterer Verfeinerung und Anpassung an die Wünsche und Bedürfnisse der Landwirte. Sie kann als Prototyp für die Interaktion mit Landwirten betrachtet werden und entweder direkt in die DAKIS GUI eingebunden werden oder innerhalb der DAKIS GUI neu programmiert werden.

Im AP3.2 („Echtzeitsimulation und Quantifizierung von ÖSL/ Biodiversität“ (Uni Bonn, ZALF)) wurden Simulationsmodelle genutzt, die den Einfluss der Umwelt und der Bewirtschaftung auf die Nutzpflanzenproduktion und deren ÖSL auf Feldebene analysieren. In der Modellplattform SIMPLACE wurde ein einfaches prozess-basiertes Grünland-Ertragsmodell erstellt, das den Wachstumsprozess von Grünland nach physiologisch basierten Regeln simuliert und die Auswirkungen eines hohen Grundwasserspiegels auf die Produktivität von Grünland aufzeigen kann. Außerdem wurden empirische und prozess-basierte Erosionsmodelle erstellt und in die SIMPLACE-Plattform (www.simplace.net) integriert, die auf Basis von Reliefinformationen, Bodendaten, simuliertem dynamischem Pflanzenwachstum und Wetterdaten das Risiko für Bodenverluste durch wasserinduzierte Bodenerosion vorhersagen können (Raza et al. 2022). Für die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung der ÖSL in Agroforstsystemen wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt (Habib-ur-Rahman 2023).

Ein weiterer Bestandteil des Arbeitspakets war die regionale Modellanwendung. Ein dynamisches, prozessbasiertes Ertragsmodell für Ackerkulturen auf Feldebene wurde kalibriert und für die Simulation phänologischer Ereignisse und nutzbarer Erträge bedeutender Sommer- und Winterkulturen für die Anwendung in Brandenburg hochskaliert um die Auswirkungen von Fruchtfolgen und Düngeszenarien auf Erträge, Biomasseproduktion und weitere ÖSL zu ermitteln. Die in SIMPLACE implementierte Modelllösung kann verschiedene ÖSL abschätzen, darunter marktfähige Erträge und Biomasseproduktion von Ackerkulturen und Grünlandbeständen, Kohlenstofffixierung im Boden, Grundwasserneubildungsraten, $N_2O$-Emissionen und Reduktion der Nitratauswaschung in Abhängigkeit von Ackerkultur, Düngerintensität, Anteil ökologischer Vorrangflächen und Fruchtfolge. Die Modellergebnisse wurden den Modellen MODAM und VISA zur Verfügung gestellt und so in den DAKIS Prototyp integriert. Außerdem können die Simulationsergebnisse mit einer Datenbankschnittstelle direkt an die GUI des DAKIS Prototyps angebunden werden.

## 4.4 Teilprojekt 4: Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems

Als zentrale Stelle des DAKIS-Projektes war es das Ziel von Teilprojekt 4, die erfassten Daten zu bündeln und das DAKIS EUS zu entwickeln. Das Arbeitspaket 4.1 („Entscheidungsunterstützungssystem“ (DFKI)) konzentrierte sich dazu auf die Entwicklung und Verbesserung des Back-Ends des DAKIS EUS, als zentraler Knoten im DAKIS-System, der es ermöglicht, Informationen aus allen anderen Modulen zu konsistenten Empfehlungen zu kombinieren. Zu Beginn des Projekts wurden hierzu die konkreten Anforderungen an das EUS und die durch ein automatisches Schlussfolgerungsmodul (“Reasoner”) zu verarbeiteten Daten in zahlreichen Besprechungen mit den DAKIS Projektpartnern erörtert. Ein “Reasoner” ist eine Softwarekomponente, die logische Konsequenzen aus gespeicherten Regeln und Daten ableitet und so neues Wissen generiert (Niemann et al., 2021). Die Entwicklung und Implementation dieses Reasoners stellte die Hauptaufgabe des DFKI in der ersten Projekthälfte dar; als Ergebnis steht die Komponente funktional bereit für den Einsatz. Für die praktische Anwendung des Reasoners innerhalb von DAKIS wurden diese Regeln auf Basis von wissenschaftlichen Erkenntnissen der Agrarökologie und im späteren Verlauf des Projekts aus konkreten Fallbeispielen (Use-Cases) formuliert. Um dies umzusetzen, fand ein wöchentlicher Austausch in der Prototype Taskforce statt. In Zusammenarbeit mit AP 4.3 wurden den DAKIS-Mitarbeitern in Workshops und Besprechungen die Grundlagen der Systemarchitektur und die Anforderungen an die Teilkomponenten vermittelt, um sie bei der Regelentwicklung und Einbindung in das Modul zu unterstützen. Es wurden auch Schulungen zur Nutzung des Version Control Systems (VCS) angeboten, um den Austausch von Softwarelösungen im Konsortium zu erleichtern.

Das DFKI verbesserte das DAKIS EUS kontinuierlich. So wurde der Reasoner mit neuen Funktionen ausgestattet, die für die Bearbeitung der entwickelten Fallbeispiele notwendig waren, eine grafische Benutzeroberfläche für den Reasoner wurde implementiert und ein Konzept für die Gesamtarchitektur des DAKIS EUS erstellt. Darauf aufbauend wurde ein Prototyp für den systemweiten Datenaustausch entwickelt. Das System wurde modularisiert und mit besonderem Augenmerk auf seine Erweiterungsfähigkeit implementiert, um umfangreiche Codeänderungen auch bei zukünftigen Anpassungen zu vermeiden. Zudem wurden die einzelnen Deduktionsschritte grafisch dargestellt, um das System besser präsentieren und evaluieren zu können.

Als weitere Komponente wurde ein Stream-Processing-Framework integriert, das die Verarbeitung von großen Mengen von Sensordaten nahezu in Echtzeit ermöglicht, wie sie beispielsweise bei Feldsensoren und Drohnendaten anfallen. Ein Prototyp wurde entwickelt, um den Machbarkeitsnachweis des Systems zu erbringen. Dieser Prototyp nutzte testweise Sensordaten eines mobilen Roboters und einer semantischen 3D-Umgebungsrepräsentation (Niecksch et al. 2023). Die Integration dieser Erkenntnisse in das DAKIS-System eröffnet Möglichkeiten zur modellbasierten Auswertung von Sensordaten und zur Gewinnung zusätzlicher Informationen durch die Verknüpfung mit der Umgebungsrepräsentation. Eine prototypische technische Anbindung wurde bereits mit Testdaten von Infield-Sensoren des Partners IHP erprobt.

Die sehr komplexe Arbeit der Erstellung des Prototyps erforderte eine Erweiterung des TP4. So wurde die Entwicklung der Benutzeroberfläche (GUI) und die technische Implementierung 2020 in zwei Arbeitspakete aufgeteilt (i.e. Arbeitspaket 4.2 „Nutzeroberfläche“ (ZALF) und Arbeitspaket 4.3 „Technische Implementierung der DAKIS Applikation“ (HSO)). Für die Entwicklung der Benutzeroberfläche wurden deren praxisrelevante Funktionen erfasst und auf Machbarkeit geprüft. Darauf basierend wurde eine Testversion (Mock-Up) erstellt, die die angestrebten Funktionen des DAKIS EUS für Landwirte und andere Nutzer verdeutlicht und als Basis für eine technische Umsetzung dient.

Im AP 4.3 wurde die grundlegende Systemarchitektur für die zentrale Datenakquise, -speicherung und -verarbeitung sowie deren Verteilung erarbeitet. Die für die Datenaufbewahrung und -verarbeitung

notwendigen Systeme wurden implementiert und betrieben, zahlreiche Datensätze der einzelnen Projektpartner in eine zentrale DAKIS Datenbank importiert und dem Konsortium zur Weiterverarbeitung zugänglich gemacht.

Zudem wurden Schnittstellen und Schemata für den Import von Daten sowie Verfahren für deren automatisierte Zuführung entwickelt. Die Schnittstelle zur Anbindung an das DAKIS EUS wurde definiert, umgesetzt und erfolgreich getestet. Außerdem wurde ein prototypisches GUI zur Präsentation verarbeiteter georeferenzierter Daten entwickelt und angebunden. Die Einbindung von öffentlich verfügbaren Daten, wie beispielsweise den Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), wurde technisch evaluiert und prototypisch umgesetzt. Es wurde weiterhin die Möglichkeit der Anbindung des DAKIS-Systems an ein FMIS (Farm Management Information System) diskutiert und unterstützt. Durch die Aktivitäten des TP 4 konnte ein strukturierter Prototyp des DAKIS EUS erstellt werden, der die Grundlage für die Erstellung eines betriebsfähigen und automatisierten Systems darstellen wird.

## 4.5 Teilprojekt 5 DAKIS Implementierung

Im Teilprojekt 5 wurden innovative Anbauverfahren getestet, um einerseits die praktische Umsetzbarkeit der verschiedenen Verfahren als auch deren Effekt auf die Bereitstellung von ÖSL bewerten zu können. Hierzu wurde eng mit Teilprojekt 2 kooperiert, das das Monitoring auf den in Abschnitt 4.2 genannten Flächen ausführte.

Innerhalb des Arbeitspakets 5.1 wurde auf dem Kooperationsbetrieb in Müncheberg-Dahmsdorf erfolgreich ein Schlag im Patch-Anbau bewirtschaftet. Auf Basis einer Analyse von Geodaten und Rammkernbohrungen, die Aufschluss über das Bodenprofil und Substratmerkmale gaben, wurde die Fläche in Patches mit hohem und geringem Ertragspotenzial eingeteilt. Auf ersteren Flächen wurden verkaufsorientierte Kulturen (Winterdinkel, Buchweizen) und auf letzteren bodenfruchtbarkeitsfördernde und erosionshemmende Kulturen (Luzerne/Gras-Gemisch) angepflanzt. Darüber hinaus wurden streifenförmig bewirtschaftete Referenzflächen angelegt. Zur Bewertung der Erträge aus den Patches im Vergleich zum Streifenanbau wurde die Biomasse durch Feldmessungen mit Daten aus UAV Flügen verglichen (Montzka et al. 2023). Zudem wurde die Ertragsheterogenität mittels eines Parzellenmähdreschers erfasst. Die Identifizierung von Patches aus mehrjährigen Ertragskarten und Geodaten (Donat et al. 2022) wurde auch als Beitrag für das kooperierende Projekt Patch Crop angewandt. Um Patches mit kleineren und komplexeren Geometrien bestmöglich zu bewirtschaften, wurde ein ‘path planning‘ Algorithmus entwickelt, der die effizienteste Bearbeitungsrichtung pro Patch identifiziert (Donat et al. 2023a). Für die Untersuchung von Agroforstsystemen wurden verschiedene Baumarten auf der Agroforstfläche in Großmutz getestet. Es wurden Parzellen-Ernten organisiert und durchgeführt, um den Einfluss des Baumwachstums auf die angrenzenden ackerbaulich genutzten Bereiche zu analysieren. Ein dreidimensionales Simulationsmodell wurde entwickelt, um zukünftige Beschattungseffekte vorherzusagen (Donat et al. 2023b).

Arbeitspaket 5.2 konzentrierte sich auf die Analyse der standortbezogenen Heterogenität von Grünland als Basis für die Unterteilung in kleinflächige und standortangepasste Bewirtschaftungseinheiten. Zur Entwicklung der drohnenbasierten Erfassung von Vegetationsparametern wurde auf einer Grünlandversuchsfläche der Forschungsstation Paulinenaue eine Rasterkartierung über drei Streifen verschiedener praxisüblicher Nutzungsintensitäten angelegt (2,3 und 4 Schnitte pro Jahr) und über drei Jahre die Artenzusammensetzung der Vegetation, Deckungsgrad, LAI, Bestandshöhe, Ertrag, Futterqualität und Grundwasserstand erhoben und mit Fernerkundungsdaten aus AP 2.1 abgeglichen. Es wurde der Einfluss von Störfaktoren (Lager, Maulwurfshügel) auf die drohnenbasierte Vegetationshöhe- und Biomasseschätzung untersucht (Bazzo et al., 2025) und Modelle zur Artendiversitätserfassung entwickelt (Bazzo et al., 2024).

In einem weiteren Ansatz wurden auf einer Praxisbetriebs-Versuchsfläche Bodenmerkmale mit dem Geophilus-Messsystem erfasst. Mithilfe dieser Daten und Untersuchungen der Pflanzenbestände wurden Teilbereiche hinsichtlich ihres Ertragspotenzials definiert und unterschiedliche Schnitthäufikgeiten (1- und 2-Schnitte pro Jahr) implementiert (Mosebach et al. 2022). Es erfolgte eine Rasterkartierung wie oben beschrieben. Ein Sensornetzwerk (AP 2.3) mit Integration von Mikrofonen (AP 2.1) diente der faunistischen Diversitätserfassung mittel akustischer Indizes (Mohr et al., 2023). Zur Erfassung der Artendiversität auf Artniveau wurden in Zusammenarbeit mit AP 5.3 Techniken zur Identifikation von Indikatorpflanzenarten im Grünland entwickelt (siehe unten).

Auf Landschaftsebene wurde eine GIS-basierte Datengrundlage zur Beurteilung der Größe und Heterogenität von Bewirtschaftungseinheiten entwickelt, die als Grundlage für die Umsetzung von betriebsübergreifenden ÖSL-fördernden Maßnahmen dient. Zur Bewertung von Maßnahmen der standortangepassten Grünlandnutzung wurden Expert*inneninterviews durchgeführt und ausgewertet.

Arbeitspaket 5.3 beschäftigte sich mit technischen Konzepten in der Landwirtschaft und der Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Auswertung von Biodiversitätskennwerten. Basierend auf Künstlicher Intelligenz (KI) wurde ein Computer-Vision-System entwickelt, um Biodiversitätsparameter aus RGB-Bilddaten abzuleiten, insbesondere um Indikatorarten im Grünland zu identifizieren. In enger Kooperation mit dem Arbeitspaket 5.2 wurden gute Ergebnisse bei der Identifizierung von Indikator-Pflanzenarten mit Hilfe eines auf Deep-Learning-Methoden basierenden Objektdetektors erzielt (Basavegowda et al. 2022). Zudem wurden Sensor- und Robotikkonzepte entwickelt, um autonome Feldroboter für die Unkrautbekämpfung in Agroforstsystemen einzusetzen.

Der Co-Design-Ansatz mit enger Zusammenarbeit mit landwirtschaftlichen Betrieben lieferte in TP 5 wertvolle Einblicke in die praktische Umsetzung innovativer Anbaumethoden.

Die entwickelte Methode zur Nutzung georeferenzierter Ertragsdaten wird direkt in das DAKIS EUS integriert, um Vorschläge für kleinräumige Maßnahmen generieren zu können. Die Entwicklung und Erprobung neuer Verfahren zur Biodiversitätserfassung und zur Steuerung autonomer Maßnahmen bilden zudem eine wichtige Basis für die Einbindung von ÖSL-Monitoring in das DAKIS EUS.

## 4.6 Teilprojekt 6 Vorausschauende Bewertung und rechtliche Prüfung

In Teilprojekt 6 wurde kritische Begleitforschung zu der in den Teilprojekten 1-5 realisierten Entwicklung des DAKIS EUS durchgeführt.

Arbeitspaket 6.1 “Foresight” untersuchte mögliche Entwicklungen von Agrarsystemen in der Zukunft, auf die die Funktionen des DAKIS EUS abgestimmt wurden. Hierzu wurden in einem partizipativen Ansatz Zukunftsszenarien entwickelt. Vier verschiedene Zukunftspfade illustrieren unterschiedliche Rahmenbedingungen und die daraus resultierenden notwendigen Funktionen und Anforderungen an das DAKIS EUS. Die Szenarien und die dazugehörige Broschüre wurden in verschiedenen Events und in sozialen Netzwerken kommuniziert (s. Dönitz et al. 2020). In weiteren regionalen Workshops wurden die heutigen und zukünftigen Bedürfnisse der Landwirte an ein digitales Tool erarbeitet und daraus Empfehlungen für die Entwicklung des DAKIS EUS und der DAKIS GUI abgeleitet. Zusätzlich wurden im Rahmen eines Konferenz-Workshops Valorisierungsoptionen für ÖSL identifiziert, die unter den sich ändernden Rahmenbedingungen der verschiedenen Szenarien am besten geeignet sind (Voglhuber-Slavinsky et al. 2023).

Im Arbeitspaket 6.2 “Impact Assessment” wurde die Eignung bestehender Nachhaltigkeitsbewertungstools in der Landwirtschaft analysiert (MacPherson et al. 2020). Besonderer Fokus lag dabei auf der Bewertung von ÖSL und ihrer Integration in das DAKIS System. Es wurde auch eine Analyse politischer Strategiedokumente durchgeführt, um die Rolle der Digitalisierung in der Landwirtschaft für die Erreichung von Nachhaltigkeitszielen zu bewerten (MacPherson et al. 2022). Ein

partizipativer Modellierungsansatz auf Basis von Bayesian Belief Networks wurde entwickelt, um die Nachhaltigkeitsbewertung weiterzuentwickeln und unterschiedliche Perspektiven relevanter Akteursgruppen systematisch zu integrieren (MacPherson et al. 2025). Auf Grundlage dieser Arbeit wurde eine Online-Tool (Participatory Systems Impact Modeller (pSIM)) für die partizipative Modellierung der DAKIS 'Use-Cases' entwickelt. Dieses interaktive Tool ermöglicht es den NutzerInnen, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitsthemen und deren Beeinflussung durch ausgewählte agrarökologische Maßnahmen im Rahmen eines Modellierungsprozesses zu erkunden. Darüber hinaus ermöglicht das Tool die Speicherung und Verarbeitung von Modellen unterschiedlicher Stakeholdergruppen. Dadurch wird ein vergleichender Überblick darüber geschaffen, welche gesellschaftlich relevanten Nachhaltigkeitsthemen von verschiedenen Gruppen als besonders bedeutsam wahrgenommen werden und wie diese in ein umfassenderes Systemverständnis eingebettet sind. Zusätzlich wurden im Rahmen des Programms Agrarsysteme der Zukunft Aktivitäten zur interkonsortialen Zusammenarbeit im Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung durchgeführt.

Im Arbeitspaket 6.3 "Agri Digital Law" lag der Fokus auf dem rechtlichen Rahmen für das DAKIS System. Zu diesem Zwecke wurden sowohl die zugrunde liegenden agrardigitalpolitischen Rahmenbedingungen analysiert, als auch die auf Grundlage des technischen Designs relevanten Rechtsphänomene. Insoweit wurde auch die rechtliche Ausgestaltung der Gemeinsamen Agrarpolitik in Betracht gezogen und deren Auswirkungen auf das DAKIS-System berücksichtigt (Olbrisch, 2022). Zudem wurden umfangreiche Forschungsarbeiten zu rechtlichen Aspekten des Einsatzes von künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft durchgeführt (Härtel, 2020) und die rechtlichen Grundlagen für den Einsatz von Blockchain-Technologien (Schöbel, 2021) zur Sicherheit des Datenaustauschs ebenso untersucht wie Fragen der Datenverfügbarkeit im Schnittfeld von B2B-Datenrechten und landwirtschaftlichem Datenschutzrecht. Die tangierten agrar- und digitalrechtlichen Rechtsmaterien wurden dabei ganzheitlich im Sinne eines Agrar-Digitalrechts betrachtet (Härtel, 2019; Härtel, 2021).

Die Aktivitäten in Arbeitspaket 6 tragen dazu bei, zukünftige Entwicklungen in der Landwirtschaft vorherzusagen, die Auswirkungen der Digitalisierung zu bewerten und den rechtlichen Rahmen für das DAKIS EUS zu bestimmen.

## 4.7 DAKIS Projektkoordination und Management

Um den interdisziplinären Ansatz des Projekts zu unterstützen, legte das Koordinationsteam besonderen Wert auf die Planung und Durchführung von Veranstaltungen, die die Zusammenarbeit im Konsortium stärken sollten. Nach dem Abschluss der Kooperationsvereinbarung mit allen beteiligten Institutionen und dem DAKIS Kick-off Workshop in Berlin im ersten Projektjahr wurde ein jährliches DAKIS Projekttreffen organisiert. Zudem wurden monatliche Online-Konferenzen mit allen Teilprojektleitern durchgeführt und Strategie-Workshops mit allen Projektmitarbeitern organisiert. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Projektkoordination war der Austausch mit der Zentralen Koordinierungsstelle der AdZ, um die Kooperation in der Außendarstellung des Projekts und den Austausch mit anderen Konsortien zu fördern. Ein Mitglied des DAKIS Koordinationsteams nahm regelmäßig an den virtuellen AdZ Koordinationskreis-Treffen teil. Bei der Entwicklung der DAKIS Homepage, des DAKIS Virtual Reality Clips und des DAKIS Imagefilms wurde eng mit der AdZ Koordinierungsstelle zusammengearbeitet. DAKIS wurde auf zahlreichen wissenschaftlichen Konferenzen und öffentlichen Events wie der Internationalen Grünen Woche und der Agritechnica präsentiert (siehe Teil I, Anlage 2). Im Laufe des Projekts übernahm das Koordinationsteam eine stärkere Rolle bei der Koordinierung der Zusammenarbeit der einzelnen Teilprojekte für die Entwicklung des DAKIS EUS. Dazu wurden interne Task Forces für den Prototyp und die Use-Cases eingerichtet und in regelmäßigen Online-Treffen koordiniert (siehe Kapitel 8 Darstellung der Zusammenarbeit). Die interkonsortiale Kooperation wurde durch die aktive Mitwirkung in den Arbeitsgruppen für Ökosystemdienstleistungen (ESS) und Nachhaltigkeitsbewertung sowie durch mehrere Treffen mit NOcsPS und GreenGrass realisiert. Ein weiterer Schwerpunkt der Projektkoordination war der Aufbau

und die Koordination der jährlichen Treffen der regionalen Projektbeiräte für Brandenburg und Bayern. Die Projektbeiräte setzten sich aus Landwirten, Vertretern von Umwelt-NGOs, lokaler Politik und Wissenschaft zusammen. Der Austausch mit den Projektbeiräten war ein Teil des Co-Design Ansatzes und lieferte wertvolle Hinweise zur Ausrichtung der Entwicklung des DAKIS EUS an den Bedürfnissen der zukünftigen Nutzer.

Weitere Aktivitäten der Projektkoordination umfassten den Austausch mit der Rechtsberatung des ZALF zu datenschutzrelevanten Fragen des DAKIS-Prototyps sowie die Koordination der Unterzeichnung von Verträgen mit den Verwaltern der DAKIS Versuchsflächen.

# 5. Änderungen im Arbeitsplan/Meilensteine

Änderungen im Arbeitsplan waren einerseits durch Verzögerungen wegen der Corona-Beschränkungen notwendig geworden. Andererseits wurden auch einzelne Arbeitsschritte aufbauend auf den erzielten Ergebnissen abgeändert und angepasst. Diese entstanden vorwiegend durch die komplexe Ausarbeitung des Entscheidungsunterstützungssystems mit hilfe von Use-Cases und die Identifizierung von Datenflüssen. Die Meilensteine des Projekts mit Bezug zu Teilprojekten, die durch das ZALF bearbeitet wurden, wurden mit Ausnahme der folgenden zur geplanten Zeit erreicht. Die Verzögerungen ergaben sich aus folgenden Gründen:

- M 1-1-3: Maßnahmenkatalog wird im Rahmen der Use-Cases erarbeitet, es gab Verzögerungen in der Ausarbeitung der Use-Cases. Da diese durch alle Teilprojekte/Arbeitspakete mitbearbeitet werden mussten, wurde mehr Zeit in Anspruch genommen, als ursprünglich eingeschätzt.
- M 1-2-3: Wegen Entscheidung für eine andere als die ursprünglich vorgesehene verhaltensökonomische Methode. Jetzt: agentenbasierte Modellierung, Anwendung im 5*5 km Landschaftsfenster.
- M 4-2-2: Die Verknüpfung der Daten war komplexer als ursprünglich eingeschätzt. Durch die Aufstockung wurde eine detailliertere Bearbeitung möglich und so wurde der Meilenstein verschoben.
- M 5-1-1: Die Etablierung von Agroforstflächen war durch trockene Witterung und Tierfraß sehr schwer und verzögerte sich. So dass die Daten erst im 5. Jahr vorlagen.
- M 5-1-2: Die Etablierung der Feldversuche verzögerte sich durch Corona bedingte Krankheitsfälle und Verspätung der Feldbestellung. Daten langen somit erst im 5 Jahr vor.

Wie im Aufstockungsantrag beschrieben, wurden einige Meilensteine hinzugefügt, um der Komplexität der Softwareentwicklung gerecht zu werden. Diese wurden im letzten Projektjahr erfolgreich abgeschlossen.

# 6. Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das geplante Budget für Personal und Sachmittel wurde planmäßig ausgegeben; Änderungen innerhalb der Positionen wurden rechtzeitig an den Zuwendungsgeber kommuniziert. Alle Ausgaben befolgten die Vorgaben der Sparsamkeit und verantwortlichen Handhabe von Ressourcen.

Im vierten Jahr (2022) hat sich für Arebiten des Fraunhofer ISI im Teilprojekt 6 größere Aktivitäten in folgenden Bereichen ergeben: (1) Kooperation im Rahmen des Verbunds Agrarsysteme der Zukunft sowie Diskussion der Synergien zwischen den Projekten, inkl. Teilnahme an Veranstaltungen und Workshops; (2) Weiterführende Aktivitäten innerhalb des DAKIS-Konsortium, inkl. zusätzlicher

Aktivitäten wie Mini-Workshops, Literaturrecherchen und Erstellung von Publikationen. Zudem konnten durch die Corona-Pandemie interaktive Workshops und Reisen nicht durchgeführt werden. So wurden 30.000 Euro zu Personalkosten umgewidmet.

Im fünften Jahr (2024) wurde eine kostenneutrale Verlängerung bis Ende Dezember 2024 beantragt und bewilligt (ursprüngliches Projektende: März 2024).

Die entsprechenden Nachweise (zum Finanzbereicht) im Rahmen des Abschlussbericht wurden bereits eingereicht.

# 7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Projekt geleistete Arbeit war notwendig und angemessen. Aufgrund des komplexen Entscheidungsunterstützungssystems, waren zusätzliche Personalkapazitäten notwendig (Aufstockungsantrag im 3. Jahr).

# 8. Anpassung/Weiterentwicklung der Vision

Im Projektantrag für DAKIS wurde das Konzept für die Entwicklung von DAKIS-Produktionssystemen als innovatives 'System der Systeme' auf der Ebene der Agrarlandschaft vorgeschlagen. Die gesamte Wertschöpfungskette, vom Erzeuger bis zum Konsumenten im urbanen Raum, sollte in dieses System integriert werden. Im Laufe der Projektarbeit wurde allerdings deutlich, dass der hohen Komplexität der agrarökologischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie den sozialen Einflussfaktoren durch eine Modularisierung der einzelnen Komponenten besser Rechnung getragen werden konnte. Außerdem wurde für den DAKIS Prototyp eine Schnittstelle zu FMIS und anderen bereits von LandwirtInnen genutzten Technologien konzipiert. So wird es den Nutzer*Innen erstmals ermöglicht, die Verbesserung von Biodiversität und ÖSL als Zielstellung in ihre Produktionsentscheidungen einzubeziehen.

Die Analyse und Modellierung der Auswirkungen verschiedener Management-Strategien auf die Bereitstellung von ÖSL und Biodiversität durch das DAKIS EUS bildet zudem die Basis für eine Valorisierung von ÖSL und Biodiversität, sei es durch politische Förderprogramme oder den freien Markt.

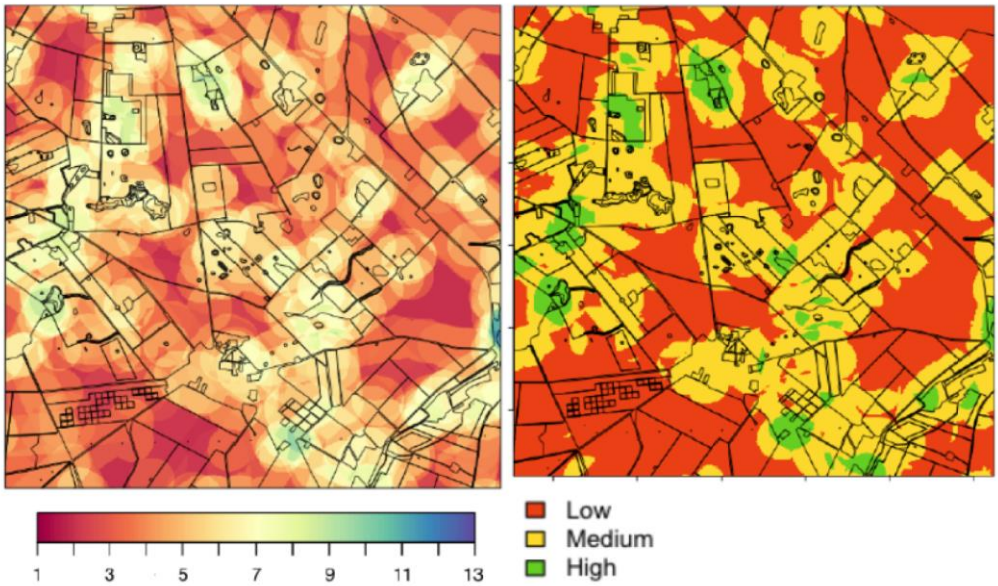


**Abbildung 3:** Übersichtskarte über ÖSL Habitat Richness: (Christopher Marples, 2023)

# 9. Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Keiner.

# 10. Veröffentlichungen der Ergebnisse

## 10.1 Peer-Review Journal Artikel

**Erarbeitet/Eingereicht 2023-2024, veröffentlicht 2025:**

- Basavegowda, D. H.; Schleip, I.; Bellingrath-Kimura S. D.; Weltzien, C. (2025): UAV-assisted deep learning to support results-based agri-environmental schemes: Facilitating Eco-Scheme 5 implementation in Germany. Biological Conservation, 309, 111323. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111323
- Hunecke, Claudia; Thom, Ferike; Vogt, Julia Helen-Maria; Bellingrath-Kimura, Sonoko Dorothea; Brünck, Tilman; Gaupp, Franziska et al. (2025): Sustainable and Resilient Agrifood Systems (SARAS). A Leibniz Position. Sustainable Development, 3468. https://doi.org/10.1002/sd.3468
- Schaan, Linn N.; Finch, Elizabeth A.; Wartenberg, Ariani C.; Boettner, Vincent S.; Bellingrath-Kimura, Sonoko D.; Bonn, Aletta; Pe'er, Guy (2025): Mapping and prioritising landscape feature restoration in agricultural landscapes: A case study in Brandenburg, Germany. Land Use Policy 154, 107531. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107531
- Melzer, M.; Spykman, O.; Bellingrath-Kimura, S.D. (2025): Beetle bank-positioning on sloped farmland to promote water retention and biodiversity in farm management information systems for agri-environmental schemes. Biological Conservation, 302, 110999. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.110999
- MacPherson, Joseph; Rosman, Anna; Helming, Katharina; Burkhard, Benjamin (2025): A participatory impact assessment of digital agriculture: A Bayesian network-based case study in Germany. In Agricultural Systems 224, p. 104222. DOI: 10.1016/j.agsy.2024.104222.

**Veröffentlicht 2024:**

- Basavegowda, D. H., Schleip, I., Mosebach, P., & Weltzien, C. (2024). Deep learning-based detection of indicator species for monitoring biodiversity in semi-natural grasslands. Environmental Science and Ecotechnology, 100419.
- Bazzo, C.O.G., Kamali, B., Behrend, D., Hueging, H., Schleip, I., Mosebach, P., Behrendt, A., Gaiser, T., 2024. Assessing the Effect of Field Disturbances On Biomass Estimation in Grasslands Using UAV-Derived Canopy Height Models. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science. https://doi.org/10.1007/s41064-024-00322-x
- Bazzo, C.O.G., Kamali, B., dos Santos Vianna, M., Behrend, D., Hueging, H., Schleip, I., Mosebach, P., Haub, A., Behrendt, A., Gaiser, T., 2024. Integration of UAV-sensed features using machine learning methods to assess species richness in wet grassland ecosystems. Ecological Informatics 83, 102813. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102813
- Kamali, B., Ahmadi, S.H., Gaiser, T., Buddeberg, M., Nendel, C., 2024. Quest to find compromised spatial and temporal resolutions for integrating remote sensing data with an agro-ecosystem model for grasslands. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 128, 103705. https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103705
- Raza, A., Vianna, M.d.S., Ahmadi, S.H., Habib-ur-Rahman, M., Gaiser, T., 2024. Comparison of predictive modeling approaches to estimate soil erosion under spatially heterogeneous field conditions. Environmental Modelling & Software 180, 106145. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106145

**Veröffentlicht 2023:**

- Enders, A; Gaiser, T; Srivastava, A.K. et al., (2023): SIMPLACE – A versatile modelling and simulation framework for sustainable crops and agroecosystems. *In Silico Plants.* https://doi.org/10.1093/insilicoplants/diad006.
- Guarin, J.R., Gaiser, T; Srivastava, A.K., et al., (2022): Evidence for increasing global wheat yield potential. *Environmental Research Letters.* https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca77c
- Kimball, B; Gaiser, T; Srivastava, A.K. et al., (2023): Simulation of evapotranspiration and Yield of Maize: An Inter-comparison among 41 maize models. *Agricultural and Forest Meteorology.* https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109396 .
- Gao, J; Zeng, W; Ren, Z; Ao, C; Lei, G; Gaiser, T; Srivastava, A.K. (2023): A fertilization decision model for maize, rice, and soybean based on machine learning and swarm intelligent search algorithms. Agronomy. https://doi.org/10.3390/agronomy13051400 .
- Sosulski, T; Srivastava, A.K. et al., (2023): Carbon storage potential and carbon dioxide emission from mineral fertilized and manured soil. *Applied Sciences*. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/7/4620.

- Bazzo, COG; Kamali, B.; Hütt, C.; Bareth, G.; Gaiser, T. (2023): A Review of Estimation Methods for Aboveground Biomass in Grasslands Using UAV. Remote Sensing. https://doi.org/10.3390/rs15030639
- Donat, M., Geistert, J., Grahmann, K. (2023): Orientation of tree rows in alley cropping systems matters – The “ShadOT” modelling tool for tree growth and shading effects. MethodsX. https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102282
- Donat, M., Geistert, J., Grahmann, K. et al. (2023): Field path optimization to reduce headland and turning maneuvers at regional scales: automated detection of cultivation direction in the state of Brandenburg, Germany. Precision Agric. https://doi.org/10.1007/s11119-023-10033-9
- Faye, B., Webber, H., Gaiser, T., Müller, C., Zhang, Y., Stella, T., Latka, C., Reckling, M., Heckelei, T., Helming, K., and Ewert, F. (2023): Climate change impacts on European arable crop yields: Sensitivity to assumptions about rotations and residue management. European Journal of Agronomy 142, 126670. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126670
- Melzer, M; Bellingrath-Kimura, S; Gandorfer, M (2023): Commercial farm management information systems – A demand-oriented analysis of functions in practical use, Smart Agricultural Technology, Volume 4, 100203, ISSN 2772-3755. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100203 .
- Mohr, J., Tewes, A., Ahrends, H., and Gaiser, T. (2023): Assessing the Within-Field Heterogeneity Using Rapid-Eye NDVI Time Series Data. Agriculture 13, 1029. https://doi.org/10.3390/agriculture13051029
- Montzka, C.; Donat, M.; Raj, R.; Welter, P.; Bates, J.S. (2023): Sensitivity of LiDAR parameters to aboveground biomass in winter spelt. Drones 7(2), 121. https://www.mdpi.com/2504-446X/7/2/121
- Mouratiadou et al. (2023): The Digital Agricultural Knowledge and Information 1 System (DAKIS): employing digitalization to encourage 2 diversified and multifunctional agricultural systems, Environmental Science and Ecotechnology, Volume 16, 100274, ISSN 2666-4984. https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100274
- Rahman, M. H. u., Ahrends, H. E., Raza, A., and Gaiser, T. (2023): Current approaches for modeling ecosystem services and biodiversity in agroforestry systems: Challenges and ways forward. Frontiers in Forests and Global Change 5. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1032442
- **Shaaban, M., Voglhuber-Slavinsky, A., Dönitz, E., Macpherson, J., Paul, C., Mouratiadou, I., Helming, K., & Piorr, A. (2023): Understanding the future and evolution of agri-food systems: A combination of qualitative scenarios with agent-based modelling. Futures, 149, 103141. https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103141**
- Shaaban, M. (2023): Viability of the social–ecological agroecosystem (ViSA). SoftwareX, 22, 101360. https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101360
- **Voglhuber-Slavinsky, A.; Lemke, N.; MacPherson, J.; Dönitz, E.; Olbrisch, M.; Schöbel, p.; Moller, B.; Bahrs, E.; Helming, K. (2023): Valorization for Biodiversity and Ecosystem Services in the Agri-Food Value Chain. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-023-01860-7** .


### Veröffentlicht 2022:


- Donat, M.; Geister, J.; Grahmann, K.; Bloch, R.; Bellingrath-Kimura, S. (2022): Patch cropping- a new methodological approach to determine new field arrangements that increase the multifunctionality of agricultural landscapes – In: Computers and Electronics in Agriculture. Volume 197. 106894. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106894
- Villa, A., Eckersten, H., Gaiser, T., Ahrends, H. E., and Lewan, E. (2022): Aggregation of soil and climate input data can underestimate simulated biomass loss and nitrate leaching under climate change. European Journal of Agronomy 141, 126630. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126630
- Ghafarian, F.; Wieland, R.; Lüttschwager, D.; Nendel, C. (2022): Application of extreme gradient boosting and Shapley Additive explanations to predict temperature regimes inside forests from standard open-field meteorological data. Environmental Modelling & Software, Volume 156,105466. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105466
- Ghafarian, F.; Wieland, R.; Nendel, C. (2022): Estimating the Evaporative Cooling Effect of Irrigation within and above Soybean Canopy. https://doi.org/10.3390/w14030319
- Golicz, K., Bellingrath-Kimura, S., Breuer, L., & Wartenberg, A. C. (2022): Carbon accounting in European agroforestry systems-Key research gaps and data needs. Current Research in Environmental Sustainability, 4. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100134
- Hannigan, S.; Nendel, C.; Krull, M. (2022): Effects of temperature on the movement and feeding behaviour of the large lupine beetle, Sitona gressorius. Journal of Pest Science, 96, 389 – 402. https://doi.org/10.1007/s10340-022-01510-7
- Hernández-Ochoa, I. M., Gaiser, T., Kersebaum, K.-C., Webber, H., Seidel, S. J., Grahmann, K., and Ewert, F. (2022): Model-based design of crop diversification through new field arrangements in spatially heterogeneous landscapes. A review. Agronomy for Sustainable Development 42, 74. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00805-4

- Jacobs, S. R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., Breuer, L., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2022): Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. Agricultural and Forest Meteorology, 323, 109065. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065
- Krull, M.; Barros, F. A. (2022): Reply to “Reviewing the effects of contamination on the biota of Brazilian coastal ecosystems: Scientific challenges for a developing country in a changing world”. Science of Total Environment,858. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155545
- Krull, M.; Newman, M. (2022): Joint effects of fragmentation and mercury contamination on marsh periwinkle (Littoraria irrorata) movement. Environmental Toxicology and Chemistry, 541, 7, 1742-1753. https://doi.org/10.1002/etc.5351
- Lorenz, T., Gerster, L., Elias Wodzinowski, D., Wartenberg, A., Martetschläger, L., Molitor, H., … & Bloch, R. (2022): Innovative Teaching and Learning Formats for the Implementation of Agroforestry Systems-An Impact Analysis after Five Years of Experience with the Real-World Laboratory “Ackerbaum”. Forests, 13(7), 1064. https://doi.org/10.3390/f13071064
- **MacPherson, J.; Voglhuber-Slavinsky, A.; Olbrisch, M.; Schöbel, P.; Dönitz, E.; Mouratiadou, I.; Helming, K. (2022): Future agricultural systems and the role of digitization for achieving sustainability goals. A review. In – Agronomy for Sustainable Development 42:70. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00792-6**
- Raza, A., Ahrends, H., Habib-ur-Rahman, M., Hüging, H., and Gaiser, T. (2022): Using the Taguchi experimental design for assessing within-field variability of surface run-off and soil erosion risk. Science of The Total Environment 828, 154567. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154567
- Schwartz, C., Klebl, F., Ungaro, F., Bellingrath-Kimura, S.-D., & Piorr, A. (2022): Comparing participatory mapping and a spatial biophysical assessment of ecosystem service cold spots in agricultural landscapes. Ecological Indicators, 145, 109700. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109700


### Veröffentlicht 2021:


- Bellingrath-Kimura, S. D., Burkhard, B., Fisher, B., Matzdorf, B. (2021): Ecosystem services and biodiversity of agricultural systems at the landscape scale (Editorial). Environmental Monitoring and Assessment 193, Supplement 1, Article 275. https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-08857-x
- Härtel, I. (2021): Agrar-Digitalrecht für Agrarsysteme der Zukunft, in: Automatisierungstechnik 2021, S. 278-280. https://doi.org/10.1515/auto-2021-0004
- Montzka, C.; B. Bayat, A.; Tewes, D.; Mengen and H. Vereecken (2021): Sentinel-2 Analysis of Spruce Crown Transparency Levels and their Environmental Drivers after Summer Drought in the Northern Eifel (Germany). Special Section on Forests Under Pressure: The Need for Interdisciplinary Approaches to Address Forest Vulnerability to Tree Mortality in Response to Drought. Frontiers in Forests and Global Change 4, 667151. https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.667151
- Rahman, M.H., Hüging, H., Raza, A. , Ahrends, H. and Gaiser , T. (2021): Impact of in-field soil heterogeneity on biomass and yield of winter triticale in an intensively cropped hummocky landscape under temperate climate conditions. Precision Agriculture. https://doi.org/10.1007/s11119-021-09868-x
- Raza, A.; Ahrends, H.;Habib-Ur-Rahman, M.; Gaiser, T. (2021): Modeling Approaches to Assess SoilErosion by Water at the Field Scalewith Special Emphasis on Heterogeneity of Soils and Crops. Land 2021,10, 422. https://doi.org/10.3390/land10040422
- Schöbel, P. (2021): Die behördliche Kontrolle durch Blockchain-Technologie in der Agrar- und Ernährungswirtschaft – Datenschutzrechtliche Anforderungen, in: LKV 2021, 153-159 https://www.rewi.europa-uni.de/de/lehrstuhl/or/verwaltrecht/Forschungsstelle-fuer-Digitalrecht/Die-behoerdliche-Kontrolle-durch-Blockchain-Technologie-in-der-Agar–und-Ernaehrungswirtschaft-Datenschutzrechtliche-Anforderungen.pdf
- Schwartz, C.; Shaaban, M.; Bellingrath-Kimura, S.; Piorr, A. (2021): Participatory Mapping of Demand for Ecosystem Services in Agricultural Landscapes – In: Agriculture 2021, 11(12), 1193. https://doi.org/10.3390/agriculture11121193
- Shaaban, M.; Schwartz, C.; Macpherson, J.; Piorr, A. (2021): A Conceptual Model Framework for Mapping, Analyzing and Managing Supply–Demand Mismatches of Ecosystem Services in Agricultural Land-scapes – In: Land 2021, 10(02), 131. https://doi.org/10.3390/land10020131
- Ungaro, F., Schwartz, C., Piorr, A. (2021): Ecosystem services indicators dataset for the utilized agricultural area of the Märkisch-Oderland District-Brandenburg, Germany. Data in Brief 34, Article 106645. https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106645


### Veröffentlicht 2020:


- Härtel, Ines (2020): Künstliche Intelligenz in der nachhaltigen Landwirtschaft – Datenrechte und Haftungsregime; Natur und Recht; 42: 439–453 https://link.springer.com/article/10.1007/s10357-020-3704-3

- Macpherson, J., Paul, C., Helming, K. (2020): Linking ecosystem services and the SDGs to farm-level assessment tools and models; Sustainability 12, 16; Article 6617. https://doi.org/10.3390/su12166617
- Tewes, A., Hoffmann, H., Krauss, G., Schafer, F., Kerkhoff, C., Gaiser, T. (2020): New Approaches for the Assimilation of LAI Measurements into a Crop Model Ensemble to Improve Wheat Biomass Estimations; Agronomy-Basel 10, 21
- Tewes, A., Hoffmann, H., Nolte, M., Krauss, G., Schäfer, F., Kerkhoff, C., Gaiser, T. (2020): How Do Methods Assimilating Sentinel-2-Derived LAI Combined with Two Different Sources of Soil Input Data Affect the Crop Model-Based Estimation of Wheat Biomass at Sub-Field Level?; Remote Sensing 664178, 1-21
- Tewes, A., Montzka, C., Nolte, M., Krauss, G., Hoffmann, H., Gaiser, T. (2020): Assimilation of Sentinel-2 Estimated LAI into a Crop Model: Influence of Timing and Frequency of Acquisitions on Simulation of Water Stress and Biomass Production of Winter Wheat. Agronomy 10, 1813. https://doi.org/10.3390/agronomy10111813

**Veröffentlicht 2019:**

- Härtel, Ines (2019): Agrar-Digitalrecht für eine nachhaltige Landwirtschaft 4.0; Natur und Recht; 41: 577–586. https://link.springer.com/article/10.1007/s10357-019-3571-y

## 10.2 Broschüren und Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer, Software Pakete, Web-Anwendungen, Schutzmarken

- **Dönitz, E.; Voglhuber-Slavinsky, A.; Moller, B. (2020): Agribusiness in 2035 – Farmers of the Future. Broschüre des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung. 52 Seiten.**
- **Präsentation und Diskussion im Rahmen der Internationalen Grünen Woche IGWDigital2021 „Zukunftswerkstatt light“ (2021). Im Livestream waren etwa 600 Zuschauer aus dem Agribusiness und der Landwirtschaft dabei. Die Veranstaltung wurde von der Marketinggesellschaft der niedersächsischen Land- und Ernährungswirtschaft e.V. organisiert. Mit dabei waren zwei weitere Gäste Dr. Jochen Köckler, Vorsitzender des Vorstandes der Deutschen Messe AG in Hannover und Stephan Weil, Niedersächsischer Ministerpräsident.**
- Melzer, M., Mukshinova, A., & Lechler, S. (2025). EROSPOT software package – part 2: Identification of waylines and beetle banks for water retention, erosion control and biodiversity (1.0.0). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.14272617
- Melzer, M., & Thakur, N. (2024). EROSPOT software package – part 1: Identification of erosion hotspots at sub-field level using high-resolution geospatial data (1.0.0). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.14186792
- DAKIS Web-basierter Prototyp (Zugang eingeschränkt)
- EROSPOT Web App (www.erospot.de)
- DAKIS Wortmarke (Anmeldung initiiert, 2025 erfolgreich angemeldet)
- EROSPOT Wortmarke (2024 erfolgreich angemeldet)
- Das Gesamtprojekt DAKIS präsentiert sich auf seiner Webseite https://adz-dakis.com/. Dort gibt es u.a. Dokumentarvideos, Presseartikel, und eine Sammlung an Outputs, die die Inhalte von DAKIS potentiellen Nutzern vermitteln.