

GeoSen – Künstliche Intelligenz und Geodaten zur Sensibilisierung für eine zukunftsfähige räumliche Entwicklung

Teilvorhaben Prozesssteuerung und -gestaltung der räumlichen Entwicklung

Teil II: Eingehende Darstellungen

Projektlaufzeit: 01. Juli 2022 – 30. Juni 2024

Förderkennzeichen: 01DS22003A



Abbildung: Fachgebiet Landmanagement



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Sachbericht zum Verwendungsnachweis des BMBF-Forschungsprojektes „GeoSen – Künstliche Intelligenz und Geodaten zur Sensibilisierung für eine zukunftsfähige räumliche Entwicklung“– Teil II: Eingehende Darstellung (Stand: Juli 2025)

Verbundpartner

Institution	Kürzel	Ansprechpartner
Fachgebiet Landmanagement, Technische Universität Darmstadt	DLM	Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke
CORAmaps GmbH	CORA	Dr.-Ing. Markus Huhn
Lehrstuhl für Landmanagement und Landschaftsarchitektur, H. Kołłątaj Universität für Landwirtschaft in Krakau	UR	Prof. Dr. hab. inż. Józef Hernik
GEOMATIC Michał Wyczalek-Jagiełło	GEOM	Michał Wyczalek-Jagiełło

Autor:innen

Fachgebiet Landmanagement, Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke, M.Sc. Julien Kogel, M.Sc. Luisa Ritter, M.Sc. Miriam Mayer, Frederik Stewen

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke

Technische Universität Darmstadt

Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

Institut für Geodäsie

Fachgebiet Landmanagement

Franziska-Braun-Str. 7

64287 Darmstadt

Tel.: 06151 / 16 - 21964

E-Mail: hans-joachim.linke@tu-darmstadt.de

Website: www.geodesy.tu-darmstadt.de/landmanagement

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01DS22003A vom 01.07.2022 bis 30.06.2024 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1	Forschungsergebnisse des Projektes GeoSen	1
1.1	Anlass und Projektvorstellung	1
1.2	Forschungsdesign und Forschungsfragen	2
1.3	Ergebnisse und Verwertbarkeit	4
1.3.1	Räumliche Entwicklung und Trends in der Landnutzung	4
1.3.2	Anforderungsprofile für KI-Algorithmen und IT-Tools	7
1.3.3	Entwicklung von Anwendungen zur Detektion von Landnutzungsänderungen	9
1.3.4	Entwicklung einer integrierten Webanwendung	12
1.3.5	KI-Anwendungen in Anwendungswshops	13
1.3.6	Zusammenarbeit im Verbund	16
2	Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	16
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	16
4	Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses	17
5	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	18
6	Veröffentlichung der Ergebnisse	19
7	Literaturverzeichnis	20
8	Anhang	21
8.1	Interview-Leitfaden	21

1 Forschungsergebnisse des Projektes GeoSen

In diesem Bericht werden die Ergebnisse des Forschungsprojektes „Künstliche Intelligenz und Geodaten zur Sensibilisierung für eine zukunftsfähige räumliche Entwicklung“ (GeoSen) dargestellt. Ergänzend zu den nachfolgenden Inhalten wurden weitere Projektergebnisse im Rahmen von Publikationen, dem „Leitfaden zur Vorbereitung der praktischen Implementierung“ und den Berichten der Projektpartner beschrieben, auf welche an relevanten Stellen verwiesen wird.

1.1 Anlass und Projektvorstellung

Ländliche Regionen in ganz Europa sehen sich mit Herausforderungen im Umgang mit Veränderungen in den räumlichen Nutzungsstrukturen konfrontiert. Dies betrifft beispielsweise das steigende Erfordernis zur Anpassung an Klimaveränderungen, sowohl in Siedlungsgebieten als auch in Agrar- und Naturräumen, den ökologischen Zustand von Oberflächengewässern und Grundwasser, der durch den kontinuierlichen Nähr- und Schadstoffeintrag weiterhin hinter den Zielen der ER-Wasserrahmenrichtlinie zurückbleibt oder die fortwährend hohe Neuinanspruchnahme von Flächen (BMUV/UBA 2022; IPCC 2022; Krüger et al. 2021).

Eine nachhaltige Bewältigung der identifizierten Herausforderungen erfordert eine kontinuierliche räumliche Bestandsaufnahme und Analyse im Sinne einer Raubeobachtung, die als grundlegender Ausgangspunkt für planerische Entscheidungen dient. Eine ausführliche Dokumentation der Veränderungen in der Landnutzung stellt einen entscheidenden Faktor bei der Vermeidung negativer räumlicher Entwicklungen dar. Dies dient dem Ziel einer nachhaltigen Flächeninanspruchnahme, was sich beispielsweise in den Bereichen Klimaschutz und -anpassung sowie Förderung der Biodiversität positiv auswirkt.

Die praktische Umsetzung dieser Monitoring-Strategie ist aktuell mit einem erheblichen personellen und finanziellen Aufwand verbunden. Diese Herausforderung stellt für Landkreise und Kommunen in ökonomisch schwächeren ländlichen Regionen eine signifikante Hürde dar. Die gegenwärtigen Innovationen in der Datenerhebung mittels Fernerkundung sowie Datenverarbeitung mittels künstlicher Intelligenz bilden eine Grundlage für eine grenzübergreifende, flächendeckende und kontinuierliche Raubeobachtung. Diese ist in der Lage, Landnutzungen und deren Veränderungen automatisiert zu identifizieren und zu analysieren, indem Daten verschiedener Quellen – z. B. optischer und Radar-Satelliten, Luftbildaufnahmen, amtliche Daten, kombiniert werden, um Informationen für spezifische Anwendungsfälle zu generieren. Ein Fokus bei der Entwicklung liegt dabei auf der Interoperabilität, um Lösungen für die Integration der verschiedenen Datensätze in bestehende Systeme zu bieten. Ein entscheidender Aspekt bei der Verstetigung entwickelter Ansätze ist die Betrachtung von Hemmnissen und Potentialen bei den nutzenden Stellen sowie die Aufstellung von Empfehlungen für die Implementierung.

Das Ziel des Forschungsprojektes GeoSen bestand in der Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten des Ansatzes zur Digitalisierung lokaler Entwicklungsprozesse. Zu diesem Zweck wurden innovative Tools auf KI-Basis zur Identifizierung von Landnutzungsänderungen entwickelt und deren Integrationsmöglichkeit in Entwicklungs- und Planungsprozesse mit behördlichen Akteuren evaluiert. Die genannten Herausforderungen sind nicht allein in Deutschland, sondern auch in anderen Ländern von Relevanz. Um länderübergreifend Lösungen zu entwickeln, wurde ein enger Austausch mit den polnischen Projektpartnern angestrebt.

1.2 Forschungsdesign und Forschungsfragen

Basierend auf dieser allgemeinen Zielsetzung formulierte DLM die folgenden Forschungsfragen zur näheren Eingrenzung der wesentlichen Feinziele des Teilvorhabens:

1. Welche Herausforderungen bestehen in den Untersuchungsregionen im Kontext der Landnutzung und wie lassen sich diese anhand von Fernerkundungsdaten identifizieren?
2. Wie können KI-Technologien dazu beitragen, diese Herausforderungen zu bewältigen und welche Anforderungen werden an diese Technologien gestellt?
3. Wie kann die Nutzung von KI-Technologien zur Sensibilisierung von Akteuren in der Planungspraxis helfen?

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden methodisch neben einer Literaturrecherche zur räumlichen Entwicklung und Trends in der Landnutzung qualitative, Leitfaden gestützte Experten-Interviews mit behördlichen Akteuren (Landesbehörden und Landkreise) in den Untersuchungsregionen des Teilvorhabens DLM (Hessen und Rheinland-Pfalz) durchgeführt und inhaltsanalytisch ausgewertet. Basierend auf den Ergebnissen wurden mit Blick auf die zweite Forschungsfrage Indikatoren, Anforderungsprofile und der thematische Schwerpunkt im Naturschutz definiert, welche mittels einer zweiten Erhebungsphase durch eine Onlinebefragung von unteren Naturschutzbehörden detailliert und zu Anwendungsfälle ausformuliert wurden. Durch Konzeptionierung von Python-Demonstratoren unterstützte DLM den Projektpartner CORA bei der Umsetzung dieser Anwendungsfälle in einer WebGIS-Anwendung, welche abschließend zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage mittels eines Expertenworkshops erprobt und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Planungspraxis evaluiert wurden. Der Ablauf des Forschungsprojektes sind in Abbildung 1 dargestellt.

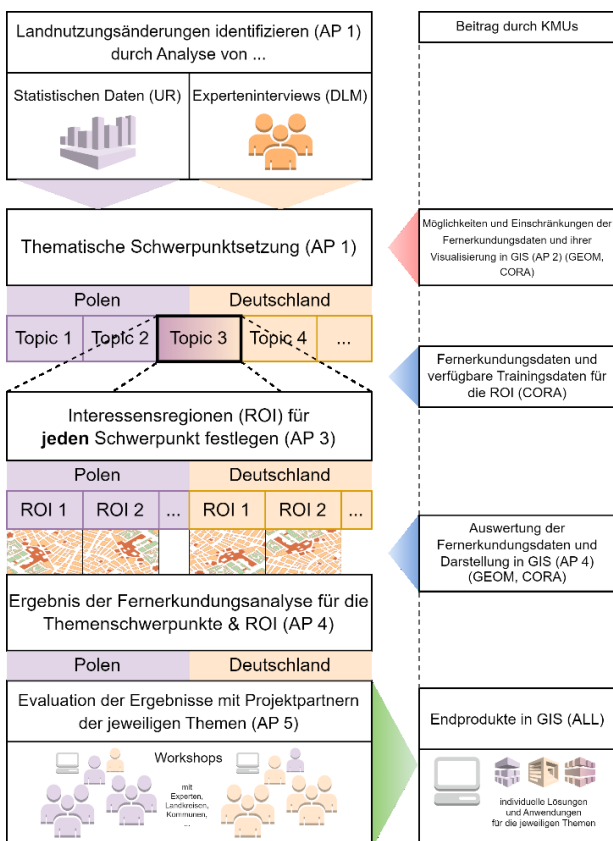


Abbildung 1: Übersicht über die Phasen des Forschungsprojektes. Eigene Darstellung.

Das Forschungsprojekt war während der zweijährigen Laufzeit in vier wesentliche Phasen unterteilt, die sich aus den übergeordneten Arbeitspaketen ableiteten:

Juni 2022 bis Dezember 2022:

Nach erfolgreichem Projekt-Kick-off erfolgte in der ersten Projektphase eine Recherche und Erhebung von Landnutzungsänderungen. Der damit zusammenhängende Meilenstein umfasste den Abschluss der Analyse der Untersuchungsregionen sowie die Aufstellung von Indikatoren zur Beschreibung der räumlichen Entwicklung (Kapitel 1.3.1) und die Zusammenfassung der konzeptionellen Anforderungsprofile (Kapitel 1.3.2). Durch den intensiven Austausch mit lokalen Partnern konnten innerhalb der Untersuchungsregionen bereits frühzeitig Fokusgebiete identifiziert werden, sodass Teilaufgaben außerplanmäßig bereits zu diesem Zeitpunkt vorgezogen werden konnten.

Januar 2023 bis Juni 2023:

Im Anschluss an die Definition der Fokusgebiete wurden ebenfalls thematische Schwerpunkte im Naturschutz im Ergebnis der Experteninterviews definiert. Abweichend von der ursprünglich geplanten Vorgehensweise, wurde im ersten Quartal 2023 eine Online-Befragung an Stelle von vor Ort durchgeführten Workshops zur Ausgestaltung der Anwendungsfälle vorbereitet, im zweiten Quartal durchgeführt und ausgewertet. Die Anforderungsprofile konnten hierdurch um fachliche Anforderungen ergänzt werden (Kapitel 1.3.2).

Juni 2023 bis Dezember 2023:

Aufbauend auf den inhaltlichen Ergebnissen der Online-Befragung wurde die Umsetzbarkeit der Anwendungsfälle in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner CORA analysiert. Im Ergebnis wurden zusätzlich zu den von CORA entwickelten Anwendungen durch DLM drei zusätzliche Demonstratoren in der zweiten Jahreshälfte implementiert und die Integration in eine gemeinsame WebGIS-Anwendung mit CORA vorbereitet (1.3.3).

Januar 2024 bis Juni 2024:

Jenes WebGIS wurde im ersten Quartal 2024 in enger Absprache mit DLM zu einem erprobungsfähigen Stand durch CORA aufbereitet (1.3.4). Parallel bereitete DLM die Erprobung in Form eines digitalen Workshops mit Vertretern verschiedener Behörden vor, welcher im April durchgeführt wurde (1.3.5). Zuletzt wurden die Ergebnisse der Workshops eingepflegt und das Erreichen der gesetzten Projektziele evaluiert.

1.3 Ergebnisse und Verwertbarkeit

Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse der einzelnen Projektphasen vorgestellt.

1.3.1 Räumliche Entwicklung und Trends in der Landnutzung

Zum Verständnis der aktuellen Herausforderungen und Trends, die sich in der Landnutzung und räumlichen Entwicklung in den deutschen Untersuchungsregionen Hessen und Rheinland-Pfalz aufzeigen, wurden die jeweiligen Prognosen und planerischen Leitlinien der Landesregierungen (oberen Planungsbehörden) als Ausgangspunkt für den Vergleich mit den Erfahrungen der Landkreise (unteren Planungsbehörden) herangezogen. Dabei wurden jene durch die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) zuletzt 2016 definierten Raumtypen betrachtet, welche in Hessen und Rheinland-Pfalz auftreten (MKRO 2016). Hierbei wird wesentlich zwischen den „Verdichtungsräumen“ und „ländlichen Räumen“ unterschieden (ebd.). Durch die Vorgabe der Leitbilder liegt ein besonderes Augenmerk auf der Weiterentwicklung von Verdichtungsräumen, insbesondere der Metropolregionen Rhein-Main (Frankfurt, Mainz, Wiesbaden) und Rhein-Neckar (Ludwigshafen am Rhein, Mannheim, Heidelberg). Gleichzeitig soll die Stadt-Land-Beziehung gestärkt und die Nutzungskonkurrenz von Freiräumen gesteuert und nachhaltig entwickelt werden (ebd.). Gerade die Inanspruchnahme von kleinräumigen Schutzgebieten oder wertvollen landwirtschaftlichen Flächen soll im Einklang mit der Nachhaltigkeitsstrategie zur Reduktion des Flächenverbrauchs in Angriff genommen werden (ebd.). Die Anpassung an den Klimawandel und die Gestaltung der Energiewende sind weitere Themen des Bundesleitbildes, die sich in der Entwicklungsplanung der Länder widerspiegeln. So steigt der Landesentwicklungsplan Hessen 2000 bei der Erläuterung der Herausforderungen für die hessische Landesplanung mit der Steuerung und Umsetzung von Planungszielen im Kontext der „Klimakrise“ ein (LEP Hessen, 2000, S. 7). Als zentrales Element steht die Bevölkerungsentwicklung als Ausgangslage für die Steuerung der Siedlungsstrukturen auf Basis von Prognosen der zu erwartenden Zu- und Abnahmen von Bevölkerungszahlen in den Verdichtungs- und ländlichen Räumen (ebd.). Auf Basis der regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung für Hessen bis 2070 stehen besonders die Verwaltungsbezirke „Frankfurt am Main, Stadt“, Wetteraukreis, Landkreis Offenbach, Main-Taunus-Kreis und Main-Kinzig-Kreis im Zeitraum 2021 bis 2050 auf der stark zunehmenden Seite der Bevölkerungsentwicklung, während Landkreis Marburg-Biedenkopf, Lahn-Dill-Kreis, Vogelsbergkreis und die Landeshauptstadt Wiesbaden mit dem stärksten Rückgang prognostiziert werden (HSL 2023). In Rheinland-Pfalz zeichnen sich ähnliche Prognosen der regionalen Bevölkerungsentwicklung auf Kreisebene ab. So werden für die Verdichtungsräume Mainz-Bingen, Ludwigshafen und Trier-Saarburg ein deutlicher Zuwachs und für die Kreise Pirmasens, Kusel und die Vulkaneifel ein deutlicher Rückgang bis 2040 projiziert (StLa RLP 2022).

In einer statistischen Auswertung von Copernicus Daten durch die Projektpartner UR und GEOM wurden die wichtigsten Trends und Tendenzen der Landnutzungsänderungen in den beiden Ländern ermittelt und quantifiziert. Auf der Grundlage von Analysen auf regionaler Ebene wurden Unterschiede zwischen den Woiwodschaften sowie übergreifende Veränderungen zwischen Woiwodschaften und Bundesländern ermittelt und beschrieben. Zur Veranschaulichung der Veränderungen der Bodenbedeckung wurden Sankey-Diagramme verwendet, die den Charakter der stattfindenden Veränderungen sowie deren Umfang sehr gut veranschaulichen. Die räumlichen Daten wurden nach Zeiträumen und Kategorien der Art der Bodenbedeckungsveränderungen geclustert. In beiden Ländern wurden wiederkehrende Trends bei den Veränderungen der Bodenbedeckung beobachtet, die hauptsächlich wie folgt kategorisiert wurden:

-
- Waldbewirtschaftung mit dem größten prozentualen Anteil an der veränderten Fläche
 - Veränderungen in der Nutzung von Acker- und Waldflächen, hauptsächlich entlang der Landwirtschaft-Wald-Grenzen
 - systematische Zuweisung von Landwirtschaft- und Waldflächen für Investitionszwecke

Diese prognostizierten und überregional definierten Entwicklungstrends wurden mit den Erfahrungen und Eindrücken aus der Planungspraxis von Vertretern der Landes-, Regional und Kreisebene verglichen. Als vorbereitender Schritt wurde ein Interview-Leitfaden (vgl. Anhang 8.1) erarbeitet (Nohl 2017). Dieser umfasste übergeordnete strukturierende Fragen zu den auftretenden Landnutzungsentwicklungen, die von den Experten in ihrer Tätigkeit am stärksten sowohl positiv als auch negativ wahrgenommen wurden, sowie Fragen zu einer prognostizierenden Einschätzung, welche Themen/Faktoren in Zukunft für ihren Landkreis bzw. ihre Region eine verstärkte Rolle für die Landnutzung aufweisen. Im Ergebnis der Experteninterviews lassen sich die aktuellen Entwicklungstrends zu folgenden thematischen Schwerpunkten zusammenfassen:

- Veränderungen in der landwirtschaftlichen Flächennutzung
- Sicherung von Natur- und Artenschutz
- Spannungsverhältnisse in der Siedlungserweiterung

Die Veränderung in der landwirtschaftlichen Flächennutzung umfasst einerseits den Umbruch von Grünland zu Ackerland (Zuwachs), andererseits den Verlust landwirtschaftlicher Fläche durch natürliche Sukzession oder Siedlungsentwicklungen. Als besonderer Trend wurde der kurzfristig starke Zuwachs an Inanspruchnahmen durch Photovoltaikanlagen identifiziert. Durch Inkrafttreten der Änderung des EEG im Juni 2018 wurde den Ländern in der sog. Länderöffnungsklausel (§ 37c Nr. 2 EEG) die Möglichkeit eingeräumt, Acker- und Grünlandflächen für die Errichtung von Solaranlagen heranzuziehen. In Hessen wurde dies in der Freiflächensolaranlagenverordnung (FSV) 2018 umgesetzt. In dieser Untersuchungsregion dürfen seitdem Photovoltaikanlagen auf benachteiligten landwirtschaftlichen Flächen realisiert werden. Zuvor war dies nur auf Konversionsflächen sowie entlang von Bundesstraßen- und Eisenbahninfrastrukturen zulässig. Die Inanspruchnahme durch Freiflächen-PV-Anlagen stieg anschließend im Jahr 2020 punktuell an.

Die Sicherung von Natur- und Artenschutz zeigt sich in Veränderungen in der Nutzungsintensität von landschaftlich geschützten Grünflächen, in der Biodiversität in Naturschutzgebieten sowie in veränderten Lebensräumen von geschützten Tierarten. Darüber hinaus konnten klimatische Auswirkungen in Form von Trockenheit anhand von Veränderungen in Feuchtgebieten (bspw. im Auenverbund Wetterau) sowie anhand von Problemen in der Wasserversorgung identifiziert werden. Für den Naturschutz im Zusammenhang der Siedlungsentwicklung besteht ein Optimierungsbedarf im Bereich des Monitorings von Ausgleichsmaßnahmen und Streuobstbeständen. Dieses erfolgt bislang durch zeitintensive Kontrollen (Ortsbegehungen und Dokumentation).

Die Siedlungserweiterung ist durch ein Spannungsverhältnis von landwirtschaftlichen Flächen zu gewerblichen und wohnbaulichen Neuansiedlungen geprägt. Die Kreise sind daran interessiert, die Entwicklung des eigenen Siedlungsgebiets zu analysieren, bspw. im Hinblick auf Statistiken zu versiegelter Fläche. Zudem besteht ein steigendes Interesse der Ansiedlung von großflächigen Logistikzentren sowie Rechenzentren in verschiedenen Landkreisen in Nähe der Metropolregion Frankfurt.

Aufbauend auf der Recherche und den Expertengesprächen wurden Indikatoren zur Quantifizierung und Messung der diskutierten Landnutzungsänderungen aufgestellt. Hierzu zählen bspw. die

prozentualen Veränderungen von Flächenanteilen geschützter Biotope innerhalb von Natura2000-Gebieten über feste Beobachtungsintervalle, oder die Zählung und Bewertung von Fruchtfolgen innerhalb landwirtschaftlicher Flächen. Folgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt aus den abgeleiteten Indikatoren, die zur Bewertung der Entwicklungstrends aufgestellt wurden:

Tabelle 1: Ausschnitt aus den abgeleiteten Indikatoren zur quantifizierbaren Beschreibung relevanter Landnutzungsveränderungen in den Untersuchungsregionen

Identifizierte Veränderung	Kurzbeschreibung	Einheit
<i>Veränderte landwirtschaftliche Flächennutzung</i>		
Umbruch von Grün zu Ackerland	Verhältnis zwischen den Anteilen Ackerfläche und Grünfläche in landw. Flächen	[Faktor]
Steigerung von Photovoltaikanlagen auf Freiflächen	Potenzialflächen zur Ansiedlung von Freiflächen-PV-Anlagen	[ha]
Monokulturen zur Energieträgerproduktion, Verlust von Biodiversität	Aufeinanderfolgende Jahre identischer Feldfrüchte auf Ackerflächen	[Anzahl]
<i>Sicherung von Natur- und Artenschutz</i>		
Entwicklung von Streuobstflächen	Anteil an Streuobstflächen in landw. Flächen, Dichte des Baumbestands	[%] [Bäume/ha]
Verringerung von Feuchtgebieten	Anteil und absolute Größe von Ried-/Feuchtgebieten in Grünflächen	[%] [ha]
Unsachgemäße Bewirtschaftung geschützter Grünflächen	Wachstumsrate der Grünmasse, Häufigkeit der Mahd	[Faktor] [Anzahl]
<i>Spannungsverhältnisse in der Siedlungserweiterung</i>		
Inanspruchnahme von landw. Flächen zu Siedlungszwecken	Jährliche Siedlungserweiterung [ha] zu Lasten von Agrarflächen	[ha/a]
Flächenversiegelung durch gewerbliche Ansiedelungen	Anteil neu versiegelter Flächen innerhalb bestehender und neu ausgewiesener GE-Flächen	[%]

Vereinzelt können mehrere Indikatoren zur Beschreibung der Trends herangezogen werden. Hierbei spielt der Anwendungskontext mit Anforderungen an die räumliche und zeitliche Auflösung eine ausschlaggebende Rolle, welche Indikatoren besser geeignet sind, die gewählte Veränderung zuverlässig zu beschreiben. Die verwendeten Beobachtungsgrößen variieren zwischen absoluten Angaben von Flächen in Hektar über das Verhältnis von Nutzungen innerhalb eines Flächentyps in Prozent bis hin zur Zählung auftretender Ereignisse / Eigenschaften innerhalb eines festgelegten Bereichs oder Zeitintervalls. Hieraus ergeben sich Anforderungen an die Datengrundlagen, die zur Ermittlung der Veränderungen herangezogen werden können.

Passend zu den Indikatoren wurden in den Experteninterviews ebenfalls Fokusgebiete innerhalb der Landkreise kommuniziert, wo diese Veränderungen in den Untersuchungsregionen wahrgenommen wurden. Dies umfasst bspw. den Auenverbund Wetterau, welcher sowohl vom Umbruch von Grün zu Ackerland, als auch vom Rückgang der geschützten Feuchtbiotope betroffen ist. Entsprechend konnten in Vorbereitung für die anschließenden Entwicklungsschritte Gebiete definiert werden, die sich für eine qualitative Untersuchung und Erprobung der Tools eignen würden. Gleichzeitig bieten diese eine Grundlage für den Aufbau von Datensätzen für den Partner CORA.

In der Auswertung der Interviewergebnisse und Bewertung der Indikatoren zeichneten sich bereits erste Herausforderungen und Limitierungen des Forschungsprojekts für den Einsatz von

Fernerkundungsdaten zur Analyse genannter Landnutzungsänderungen ab. Insbesondere im Kontext der Siedlungsveränderungen beziehen sich die genannten Herausforderungen auf die Identifizierung von unterschiedlichen Siedlungsnutzungsarten (bspw. Wohnen/Gewerbe) sowie innerhalb einer Nutzungsart auf spezifische Nutzungen (bspw. Logistik/Rechenzentren innerhalb von Gewerbeflächen), was zum Teil auf kleinflächige Indizien beruhen und eine hohe räumliche Datenauflösung erfordern würde. Zusätzlich ging aus den Expertengesprächen ein deutlicher Interessensschwerpunkt der Behörden auf natur- und freiräumliche Themen in den Schutzgebieten sowie den landwirtschaftlichen Flächen hervor, da diese als besonders aufwändig und mit hohem Innovationspotenzial in der praktischen Anwendung wahrgenommen wurden.

Aus diesen Gründen wurde der Themenkomplex der Siedlungsstrukturveränderungen zurückgestellt und vertiefend auf die Themen der Landwirtschaft und des Naturschutzes eingegangen. Im Dialog zwischen den universitären und unternehmerischen Partnern wurden die Potenziale zum Einsatz der Fernerkundung zur Erkennung der in den Interviews kommunizierten Landnutzungsänderungen diskutiert und das Aufstellen von Anforderungsprofilen vorbereitet.

1.3.2 Anforderungsprofile für KI-Algorithmen und IT-Tools

Für die Vorbereitung der Entwicklung der KI-Tools wurde aufbauend auf den identifizierten Interessensschwerpunkten aus den Interviews durch DLM eine Vorauswahl aus naturschutzfachlichen und landwirtschaftlichen Monitoring-Aufgaben aufgestellt und mit den Verbundpartnern hinsichtlich ihrer Limitierungen in der Umsetzbarkeit diskutiert. Aus den Expertengesprächen gingen erste Indizien für die Anforderungen dieser Monitoring-Aufgaben hervor, sodass eine erste Beschreibung der Anwendungsfallprofile erfolgen konnte.

Diese wurde in einer zweiten Erhebungsphase mit der behördlichen Zielgruppe der unteren Naturschutzbehörden (UNB) weiterentwickelt. Diese zweite Erhebung wurde mit dem Zweck einer ausgeweiteten Adressierung aller UNBs von Landkreisen und Kreisfreien Städte in Hessen und Rheinland-Pfalz nicht wie geplant als synchrone „vor-Ort“-Veranstaltung, sondern in Form eines asynchronen Online-Fragebogens über die Plattform LimeSurvey zwischen April und Juni 2023 durchgeführt. Dies hatte den Vorteil, dass kein Kompromiss in der Terminkoordinierung zwischen den Behörden gefunden werden musste und insgesamt eine höhere Teilnahmebereitschaft durch diese niedrigere Hürde eines kürzeren Zeitaufwandes erzielt werden konnte. Insgesamt umfasste die Erhebung 30 Rückmeldungen von UNBs, die zur weiteren Eingrenzung der Anwendungsprofile herangezogen werden konnten.

Der Online-Fragebogen gliederte sich in einen allgemeinen Fragenteil und einen spezifischen Fragenteil zu den vorbereiteten Anwendungsfallprofilen auf. Der allgemeine Teil umfasste die Abfrage des Kenntnisstands der Behörden im Umgang mit Fernerkundungsdaten, welche Datenarten sie bereits in ihrer Tätigkeit verwenden und in welcher Häufigkeit diese genutzt werden. Dies diente als Referenzwert, um die Erfahrungen der Befragten im Umgang mit Fernerkundungsdaten einschätzen und die späteren Detailantworten zu den Anwendungsfällen besser einordnen zu können.

Im zweiten Abschnitt wurden zunächst die fünf Monitoring-Aufgaben vorgestellt, die als Vorauswahl aus den Experteninterviews im Kontext des Naturschutzes hervorgegangen sind:

- Naturschutzrechtliche Kompensationsmaßnahmen
- Streuobstbestände

-
- Habitate
 - Schutzgebiete
 - Natürliche Sukzession

Nach Auswahl der für sie interessantesten Anwendungsfälle wurden die Teilnehmer und Teilnehmerinnen gebeten, diese hinsichtlich der Relevanz für ihren Landkreis zu priorisieren und in eine Reihenfolge zu bringen. Basierend auf dieser Anordnung wurden den Teilnehmenden anschließend tiefergehende Fragen zu den von ihnen angegebenen drei relevantesten gestellt (Detaillierte Auswertung vgl. Ritter et al. 2025). Dies wurde unter dem Aspekt der Zeitlimitierung dynamisch angepasst, sodass jeder Befragte nur maximal drei Anwendungsfälle detaillierter beantworten musste. Die Detailfragen waren zu jedem Anwendungsfall parallel aufgebaut und an den benötigten Informationen für die Anforderungsprofile orientiert. Es wurden zunächst die aktuell verwendeten Methoden abgefragt, die zum Monitoring von der UNB eingesetzt werden. Daraus zeichnet sich ab, dass der Großteil an Monitoring durch Ortsbegehungen und manuelle Auswertungen von Daten (sowohl Luftbilder als auch Satellitendaten) beruhen. Automatisierte Auswertungen waren bei keinem der vorgestellten Anwendungsfällen bereits im Einsatz, was auf ein Innovationspotenzial im Bereich des naturschutzfachlichen Monitorings hinweist. Zudem wurde eine qualitative Einschätzung des Aufwands in Zeit bzw. Kosten zur Durchführung des Monitorings erfragt, um einen Anhaltspunkt für das Erleichterungspotenzial zu erhalten. Gleichzeitig diente diese Information aber auch zur Plausibilisierung, wie erfolgsversprechend eine Automatisierung durch KI-Tools sein würde. Hoch aufwendige Monitoring-Aufgaben die bereits eine Herausforderung für eine manuelle Durchführung sind, können abhängig von der Komplexität ggf. nur schwierig durch einen KI-Algorithmus übernommen werden. Ideal eignen sich jene Aufgaben deren Aufwand nicht auf der seltenen Anwendung komplexer Methoden, sondern auf der Wiederholung einfach umzusetzender Beobachtungen beruhen.

Zur Definition der Anforderungsprofile wurden Informationen zu der räumlichen Ausdehnung der Gebiete, in denen das jeweilige Monitoring stattfindet, sowie zu zeitlichen Abständen abgefragt, in denen eine Datengrundlage aktualisiert werden müsste, um ein Monitoring langfristig durchführen zu können. Anhand der durchschnittlichen Größen ließen sich Schlüsse zur erforderlichen räumlichen Auflösung der verwendbaren Fernerkundungsdaten ziehen. Davon abhängig wurden die überwiegend kleinräumig (100 bis 1.000 m² Fläche) in den Untersuchungsregionen auftretenden Kompensationsmaßnahmen als ungeeignet für die weitere Entwicklung eines Auswertungstools eingestuft. Das Monitoring von Streuobstbeständen fiel mit einer durchschnittlichen zusammenhängenden Größe von 1.000 bis 10.000 m² in den Datenbereich, welcher anhand von Orthofotografien mit einer Auflösung von 20 x 20 cm pro Pixel erkennbar ist. Aufgrund ihrer Großflächigkeit (5 ha bis über 25 ha) sind Schutzgebiete für ein Monitoring mittels Satellitendaten geeignet. Kleinräumige Analysen innerhalb der Schutzgebiete, wie bspw. das Erkennen von einzelnen Biotop-/ oder Habitat-Beständen hingegen scheitert ebenfalls an einer Unterschreitung der verfügbaren räumlichen Auflösung.

Die Ergebnisse der Online-Befragung wurden mit den abgeleiteten Indikatoren zur Erkennung und Bewertung von Veränderungen in der Landnutzung verbunden, um Anforderungsprofile für die Entwicklung der Tools konstruieren zu können. Diese Anforderungsprofile wurden im weiteren Verlauf genutzt, um die Umsetzbarkeit und Bedingungen für die Implementierung bewerten und eine finale Auswahl treffen zu können. Für die Entscheidung über die umzusetzenden Monitoring-Aufgaben wurden neben den technischen Limitierungen die Priorisierung aus den Umfrageergebnissen herangezogen. Die Profile konzentrieren sich auf die Gliederung der

Datengrundlagen hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung, Verfügbarkeit sowie Synergieeffekten mit bereits vorhandenen Datenstrukturen. Folgendes Beispiel zeigt die Gestaltung der Anforderungsprofile exemplarisch für den Anwendungsfall des Monitorings von Grün-/Weideflächen in Natur-/ & Landschaftsschutzgebieten:

Tabelle 2: Beispielhafte Kurzfassung eines Anforderungsprofils zur Entwicklung eines KI-Tools

Anforderungsprofil – Monitoring von Grünlandbewirtschaftungen	
Indikatoren	Wachstumsrate der Grünmasse [Faktor] Häufigkeit der Mahd [Anzahl]
Fachliche Anforderungen	Erkennung von Bewirtschaftungsereignissen; Ableitung von Wachstumsraten;
Durchschnittlicher Gebietsumfang	Großflächig, 5 bis über 25 ha
Daten – Räumliche Auflösung	10 x 10 m (Satellitendaten)
Daten – zeitliche Auflösung	Wöchentlich bis monatlich
Daten – potenzielle Quelle	Sentinel 2 Copernicus-Programm
Zielformatierung	Graphische Aufbereitung der Grünmassenentwicklung mit Kennzeichnung von Mahd-Ereignissen Tabellarische Auswertung von Mahd-Ereignissen und Wachstumsraten
Fokusgebiete	Naturschutzgebiete, z. B. LSG Wetterau; Scheffheimer Wiesen; Bruchwiesen Bad Kreuznach;

In der abschließenden Abstimmung mit dem umsetzungsverantwortlichen Projektpartner CORA wurden die Anforderungsprofile hinsichtlich einer Eignung der Umsetzung in einer WebGIS-Umgebung finalisiert. Im Ergebnis wurden die Anforderungen an die Visualisierung der erzielbaren Ergebnisse diskutiert und realistische Kriterien für die Tools vereinbart. Bspw. sollten IT-Tools in bereits bekannte GIS-Umgebungen integrierbar sein, sodass an bestehende Arbeitsprozesse angeknüpft werden kann. Alle befragten UNB nutzen digitale Geodaten in internen Informationssystemen zur manuellen Auswertung und Dokumentation der behördlichen Monitoring-Prozesse. Um von der Zielgruppe realistisch akzeptiert zu werden, müssen IT-Tools an diesen Prozessen anknüpfen und sinnvoll den bisherigen Arbeitsablauf ergänzen anstatt vollständig auf der Aneignung neuer Kompetenzen aufzubauen.

1.3.3 Entwicklung von Anwendungen zur Detektion von Landnutzungsänderungen

Aus den Interviews, der Befragung und den ermittelten Anforderungsprofilen wurden mehrere Anwendungsansätze zunächst gesichtet und abhängig vom Umsetzungspotential weitergeführt:

- Potentielle Bewirtschaftungsereignisse – Indizien zum Einsatz von Düngemitteln auf Grünland in Schutzgebieten
- Fruchtfolge in Schutzgebieten – Monitoring von Schutzgebieten hinsichtlich der angebauten Fruchtfolge
- Streuobstwiesenbestand – Identifikation von Einzelbäumen und Baumreihen auf Streuobstwiesen

-
- Extensives Grünland – Monitoring von Grünland hinsichtlich der Bewirtschaftungsintensität
 - Natura 2000 – Auswertung der Biotoptypen-Zusammensetzung in Natura 2000-Gebieten

Die ersten drei aufgezählten Anwendungen wurden umgesetzt und im WebGIS bereitgestellt. Für die Anwendungen „Extensives Grünland“ und „Natura 2000“ wurden Untersuchungen zur möglichen Implementierung durchgeführt, eine Umsetzung im WebGIS aufgrund der Fokussierung auf die übrigen Anwendungen, welche basierend auf dem Online-Fragebogen vorgenommen wurde (vgl. Ergebnisse Kapitel 1.3.2), jedoch nicht weiter verfolgt. Aufgrund der vorliegenden fachlichen Expertise wurden die Anwendungsfälle „Potentielle Bewirtschaftungsereignisse“ sowie „Streuobstwiesenbestand“ von DLM entwickelt.

Natura 2000

Zur Erfassung unterschiedlicher Trends und Zuständen in Natura 2000-Gebieten veröffentlicht die Europäische Umweltagentur (EEA) jährlich aktualisierte Daten zu den Habitatsgebieten. Der Aktualisierungszyklus der einzelnen Mitgliedsstaaten unterscheidet sich davon jedoch teils erheblich (EEA Geospatial Data Catalogue 2022). In Deutschland erfolgt die Aktualisierung der Daten in einem Zyklus von sechs Jahren (seit 2001) mit der Veröffentlichung der nationalen FFH- und Vogelschutzberichte durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN).

Um potenzielle Trends bereits in einem früheren Stadium identifizieren und bei Bedarf entsprechend reagieren zu können, wurden CORINE Land Cover (CLC)-Daten mit den Daten zur Veränderung der Zusammensetzung Habitats der EEA verglichen, um festzustellen, ob eine Abhängigkeit zwischen den Datensätzen besteht. Da der Aktualisierungszyklus der Daten des BfN im Vergleich zu den Daten der EEA (dreijährig seit 2012) eine Verschiebung aufweist, kann die zeitliche Verzögerung zwischen den Informationszyklen verkürzt werden, was eine beschleunigte Reaktionsmöglichkeit auf Umweltveränderungen bieten würde. Der qualitative Vergleich der Daten weist darauf hin, dass Zusammenhänge bestehen. Im Rahmen des Projekts wurden keine weiteren Untersuchungen vorgenommen, denkbar wäre jedoch eine weitergehende Korrelationsanalyse, um den Anwendungsfall genauer zu untersuchen.

Extensives Grünland

Um den Status Quo der natürlichen Ökosysteme bei (baulichen) Vorhaben zu erhalten, greift in Deutschland das Instrument der naturschutzrechtliche Eingriffsregelung. Demnach sind die Leistungsfähigkeit der natürlichen Ökosysteme und die Qualität des Landschaftsbildes sind in gleicher oder gleichwertiger Weise zu erhalten bzw. wiederherzustellen oder zumindest durch einen finanziellen Ausgleich zu kompensieren. Bei Vorhaben, die in die natürliche Ökosysteme eingreifen, muss eine Bewertung vollzogen und ein Vermeidungs- und Ausgleichskonzept entwickelt werden, wobei sichergestellt werden muss, dass die Flächen, die als Ausgleichsmaßnahmen für ein neu erschlossenes Gebiet dienen, tatsächlich für die natürlichen Ökosysteme erhalten bleiben. Hierzu listet die Kompensationsverordnung eine Reihe von möglichen Maßnahmen auf, die unterschiedlich bewertet werden. Eine dieser Maßnahmen ist die Umwandlung von intensiv genutzten Flächen in extensiv genutzte Flächen. Die Umsetzung einer solchen Untersuchung ist anhand von Radardaten möglich. Dadurch können Flächen, die als Ausgleichsflächen dienen oder dem Flächenpool zugeordnet sind (diese können zukünftig als Ausgleichsflächen genutzt werden), regelmäßig auf ihren Stand überprüft und bei Nichteinhaltung Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Die weitere Umsetzung des Anwendungsfalles durch CORA wurde eingestellt, da durch den Ausfall des Sentinel 1B Satelliten die ausreichende Zeitreihendichte der Daten nicht gegeben war.

Potentielle Bewirtschaftungsereignisse (Mahddetektion)

Die Mahd von Grünland stellt einen wichtigen Beitrag zum Erhalt von Lebensräumen für Flora und Fauna dar und sollte in Naturschutzgebieten nach den Vorgaben der Naturschutzgesetze erfolgen, z. B. hinsichtlich des Zeitpunktes (vgl. §12 Abs. 2 Satz 3 HeNatG). Der Anwendungsfalls „Mahddetektion“ zielt darauf ab, aus Fernerkundungsdaten die Mahdzeitpunkte entsprechend bewirtschafteter Flächen, festgelegt durch entsprechende Polygone, zu beobachten (vgl. auch Leitfaden GeoSen 2024; Ritter et al. 2025). Erreicht wird dies mithilfe des Zusammenhangs von gesunder Vegetation und dem Verhältnis der Rot- und Nahinfrarotstrahlung, das diese reflektiert:

$$NDVI = \frac{(NIR-ROT)}{(NIR+ROT)} \text{ (Tucker 1979)}$$

Die dazu benötigten Daten werden aus Sentinel-2 Bildern abgeleitet und von CORAmaps weiterverarbeitet, um den NDVI zu ermitteln.

Die Anwendung wurde in der Programmiersprache Python geschrieben und benötigt als Eingabe ein oder mehrere Polygone sowie ein Start- und ein Enddatum. Mithilfe der ausgewählten Polygone wird eine räumliche Überlagerung mit den hinterlegten Schutzgebieten durchgeführt und damit die Flächen identifiziert, deren NDVI überprüft werden sollte. Für diese Flächen (Features) wird eine API-Anfrage an den Server von CORAmaps übermittelt, auf welchem die vorprozessierten NDVI-Daten liegen. Die Antwort erfolgt im JSON-Format als FeatureCollection, welche eine Sammlung der angefragten Features enthält, sowie eine Reihe von Informationen, welche relevant für die Auswertung sind (Datum, durchschnittlicher NDVI im Feature, Minimum-NDVI Wert im Feature, Maximum-NDVI Wert im Feature, Standardabweichung der Werte im Feature, Überdeckungsrate der Daten durch Wolken). Aus diesen können Auffälligkeiten identifiziert werden, die ein überdurchschnittlicher Anstieg oder Abfall der NDVI-Werte, z. B. um $\pm 10\%$, und dem Nutzenden ausgegeben werden. Ebenso ist eine automatisierte Überprüfung ausgewählter (voreingestellter) Schutzflächen implementierbar, um die Effizienz der Anwendung weiter zu steigern und ein großflächiges und engmaschiges Monitoring zu ermöglichen.

Fruchtfolge in Schutzgebieten (Fruchtfolgewechsel)

Die Entwicklung des Anwendungsfalls erfolgte durch CORAmaps. Die inhaltliche Beschreibung des Anwendungsfalls erfolgt im Leitfaden GeoSen (2024) sowie Ritter et al. (2025).

Streuobstwiesenbestand (Streuobst)

Durch die Aufnahme 2022 in die Liste der geschützten Biotope nach § 30 BNatSchG stehen Streuobstwiesen fortan bundesweit unter Schutz und es besteht ein erhöhter Bedarf in der Erfassung des Bestands und des Monitorings der Entwicklung dieser Flächen. Zuvor wurden vereinzelte Regelungen auf Landesebene getroffen. So war der Schutz von Streuobstwiesen bspw. in Hessen nach dem Hessischen Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz (HAGBNatSchG) zwischen 2010 und 2023 gesondert geregelt. Aus diesem Grund bestehen bereits Erfahrungswerte im Umgang mit Streuobstwiesenbeständen, auf die durch die UNB zurückgegriffen werden kann. Aus den Interviews mit hessischen UNB-Vertreterinnen ging ein Einblick in den Aufwand einher, der mit der Erfassung von Streuobstbeständen und der dauerhaften Überwachung des Pflegezustandes einhergeht. Die Erhebung findet ausschließlich manuell anhand von Ortsbegehungen und Luftbildauswertungen statt. Es bestehen bereits Ansätze, die Auswertung von LiDAR-Daten in Verbindung mit digitalen Landschaftsmodellen (DLM) und ATKIS für eine automatisierte Analyse und Bestandserhebung von Streuobst heranzuziehen (Schmieder et al. 2011). Als alternativen Ansatz wurde im Rahmen des Projekts GeoSen untersucht, wie sich die Anwendung von KI-Methoden der s.g. „Computer-Vision“ (maschinelles Sehen) eignen, um die automatisierte

Erfassung von Streuobstbäumen durch maschinelle Bildauswertungen von Orthofotographien anzunähern. Hierbei lag der Fokus auf der Verwendung von Open Source Algorithmen, die durch die *Open Computer Vision Library* kostenfrei zur Verfügung gestellt werden und sich einfach nachvollziehbar in einer Python Umgebung implementieren lassen (OpenCV 2022).

Als Datengrundlage für die Entwicklung dieses Anwendungsfall dienen Orthofotographien von Hessen der letzten 10 Jahre, welche von der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformationen (HVBG) den Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt und von CORA in einen projektinternen Webdienst integriert wurden. Der Python-Demonstrator wurde so konzipiert, dass andere alternative Datenquellen (WMS, WFS) genutzt werden können. Als Input dient eine Polygon-Abgrenzung einer Streuobstfläche. Der Anwendungsfall umfasst keine allgemeine Klassifizierung von Streuobst, sondern setzt voraus, dass für die Erkennung der Baumstandorte bereits eine Identifizierung der Streuobstwiese in einem vorbereiteten Schritt stattgefunden hat und knüpft bei der Auswertung der Baumstandorte innerhalb dieser Fläche an. Anhand der übergebenen Polygonabgrenzung wird der Bereich entsprechend der Kachelgröße der Orthofoto-Daten zerschnitten und die passenden Kacheln aus dem Datensatz geladen. Anschließend findet die Auswertung jeder einzelnen Kachel mittels OpenCV-Methoden getrennt statt. Die Auswertung basiert auf der Annahme, dass sich die Baumstandorte anhand ihres Schattenwurfs identifizieren lassen. Hieraus leiten sich die erforderlichen Computer Vision Algorithmen ab, welche zunächst die Bilddaten kontrastieren, clustern und anschließend die Kanten der Schattenflächen detektieren und auswerten (für eine detaillierte Erläuterung siehe Ritter et al. 2025).

Durch die gekapselte Implementierung als Python-Skript lässt sich der Arbeitsablauf in unterschiedliche Bereitstellungsdienste integrieren. Im Projektbeispiel wurde der Anwendungsfall auf die reine Ausgabe der Mittelpunkte der Schattenflächen als Annäherung an die Baumstandorte limitiert. Eine anschließende Auswertung dieser Baumstandorte hinsichtlich vorhandener Baumreihen und Ableitung von Nachpflanzpotenzialen wurden in Ansätzen untersucht und Funktionen in das Python-Skript integriert, welche jedoch während des Projekts nicht in die Testphase der Webanwendung aufgenommen wurden.

1.3.4 Entwicklung einer integrierten Webanwendung

Mithilfe von WebGIS-Diensten, also Geoinformationssoftware, welche über eine Webapplikation für den Endnutzenden erreichbar sind, kann eine einfache Zugänglichkeit von Geodaten für unterschiedliche Nutzer und Nutzerinnen gewährleistet werden (Lange 2020, S. 381–382). Die Daten werden dabei auf dem Server des Anbieters gespeichert, sodass für den Nutzenden keine Datenhaltungsaufgaben anfallen (ebd.). Von Anbieterseite kann eine visuelle Aufbereitung und fokussierte Verfügbarmachung der Daten erfolgen, um den Fokus auf gezielte Aufgaben zu legen. Zudem können dem Nutzer individuelle Bearbeitungs- und Sichtrechte freigeschaltet werden.

Gemeinsam mit dem Projektpartner UR wurden die technischen Anforderungen für die WebGIS-Lösung identifiziert:

- Einhaltung von HTML 5 und CSS 3.0 Standards
- Responsive Webdesign: Anpassung an die Anforderungen des Geräts, von dem aus die Webseite besucht wird
- Angemessene Leistung und geringe Prozessierungsdauer
- Benutzerfreundlichkeit durch ansprechendes Design

-
- Zugänglichkeit durch Verständlichkeit der Inhalte, Meldungen, Hinweise und Navigationselemente
 - Interaktive Nutzung der Eingabedatensätze in den Anwendungsfällen
 - Integration von Python-Skripten einschl. Kommunikation mit dem CORAMaps API-Server
 - Verwendung unterschiedlicher beispielhafter Auswertungsdarstellungen (Diagramme, Visualisierungen)

Im Projekt wurde eine auf die entwickelten Anwendungsfälle zugeschnittene WebGIS-Lösung durch CORAMaps in enger Absprache mit DLM entwickelt und regelmäßig erprobt. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf die Möglichkeit zur interaktiven Nutzung und der geeigneten Visualisierung der Landnutzungsänderungen zur Sensibilisierung gelegt. Die Entwicklung und Server-Bereitstellung erfolgte aufgrund von Verzögerungen von Seiten GEOM durch CORAMaps.

1.3.5 KI-Anwendungen in Anwendungsworkshops

Die entwickelten Anwendungen sowie das WebGIS wurden in Hinblick auf ihre Funktionalitäten in einem Workshop im April 2024 erprobt. Ziel war es, die praktische Anwendung durch Endnutzer und -nutzinnen zu testen und Feedback zur Verbesserung der bereitgestellten Lösung zu generieren. Als Zielgruppen wurden insbesondere die Unteren Naturschutzbehörden der Bundesländer Hessen und Rheinland-Pfalz, die oberen Landesbehörden für Umwelt in den beiden Ländern sowie weitere potentielle Interessentenkreise (Obere Naturschutzbehörden, Umwelt- und Naturschutzverbände, Verwaltungen) identifiziert und eingeladen. Die finale Teilnehmerzahl des Online-Workshops belief sich auf insgesamt fünf Vertreterinnen und Vertretern aus unteren Naturschutzbehörden, Landesämtern für Umwelt- und Naturschutz sowie einer Kreisverwaltung und oberen Landesbehörden. Die geringe Größe der Gruppe ermöglichte einen intensiven Austausch zwischen den Beteiligten. Die meisten Teilnehmenden sind in ihren jeweiligen Rollen für GIS- und Fernerkundungsaufgaben zuständig und zeigten ein ausgeprägtes Interesse an der Weiterentwicklung der Unterstützungsmöglichkeiten durch diese Methoden.

Der Workshop bestand aus den drei Phasen Einführung, Toolanwendung und Abschluss. Zunächst wurde das Projekt, die Projektbeteiligten sowie die bisherigen Ergebnisse vorgestellt. Durch CORAMaps erfolgte eine Einführung zu Open-Source-, Fernerkundungs- und KI-Lösungen, um den Teilnehmenden den inhaltlichen Rahmen zu vermitteln. Bevor die Teilnehmenden die Anwendungen selbst testen konnten, wurde der Aufbau des WebGIS vorgestellt. Im Rahmen der Toolanwendung wurde jeder Anwendungsfall und dessen technischer Hintergrund vorgestellt. Im Anschluss hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit, jeden der drei Anwendungsfälle im WebGIS zu erproben und direktes Feedback zunächst über eine Kurzumfrage und im Anschluss in der Diskussionsrunde zu übermitteln. Zum Abschluss wurde eine allgemeine Diskussionsrunde eröffnet und die Entwicklungspotentiale in den verschiedenen Organisationen besprochen. Der Ablauf ist in Abbildung 2 dargestellt.

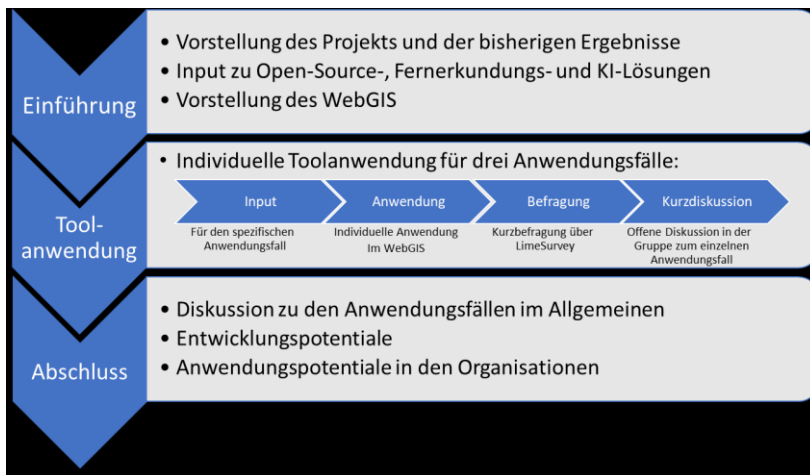


Abbildung 2: Ablauf des Anwendungsworkshops. Eigene Darstellung.

Die Bedienbarkeit des WebGIS wurde bei allen Anwendungen durchweg als positiv wahrgenommen. Zusätzlich wurden potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten dokumentiert. Die Ergebnisse der Kurzumfragen sind in Tabelle 1 als Durchschnittswert (Standardabweichung) zusammengefasst.

Tabelle 3: Ergebnisse der LimeSurvey Kurzumfragen für jeden Anwendungsfall

	Mahddetektion	Fruchtfolge	Streuobst
Die Anwendung ist für mein Aufgabengebiet hilfreich.	3,4 (1,3)	2,6 (1,1)	2,6 (1,5)
Die Anwendung ist für andere Aufgabengebiete in meiner Organisation hilfreich.	4,4 (0,5)	3,8 (0,4)	3,5 (1,0)
Die Anwendung führt zu einem Erkenntnisgewinn.	4 (1,2)	4,6 (0,5)	2,7 (0,6)
Ich kann mir weitere Anwendungen für die Funktion der Anwendung vorstellen.	4,5 (0,6)	3,5 (1,7)	3,5 (0,6)
Die Anwendung war im WebGIS einfach zu bedienen und logisch aufgebaut.	4,4 (0,5)	4,5 (0,6)	4,5 (0,6)

1: stimme nicht zu, 2: stimme eher nicht zu, 3: weder noch, 4: stimme eher zu, 5: stimme voll zu

Im Anwendungsfall Mahddetektion konnten sich die Teilnehmenden vorstellen, dass dieser innerhalb der eigenen Organisation einen Nutzen bringen könnte und fanden, dass die Anwendung zu einem Erkenntnisgewinn führte. Weitere potentielle Anwendungsfälle könnten nach Einschätzung der Teilnehmenden die Erkennung von Krankheitsschäden wie Borkenkäferbefall oder Trockenheitsschäden sein. Auch die Anwendung im Bereich der Flächenprämien wurde angeregt. Weiter fiel der Wunsch nach einer automatisierten Auswertung anhand selbst definierter Warnstufen, der in der Anwendung bereits implementiert ist, im WebGIS zum Zeitpunkt der Erprobung jedoch nicht umgesetzt war.

Die Verwendung des Fruchtfolge-Anwendungsfalls schätzten die Teilnehmenden als eher hilfreich in der Organisation ein. Die Zustimmung zum Erkenntnisgewinn durch die Anwendung fiel sehr hoch aus. Auch weitere Anwendungen, z. B. zur Analyse von Grundwasserbelastungen in unmittelbarer Nachbarschaft zu Naturschutzgebieten wurden genannt. Weiterentwicklungspotential besteht nach Meinung der Teilnehmenden in der automatisierten Auswertung anhand der Art des Anbaus (eine mehrjährige Bewirtschaftung mit Mais sollte, im Gegensatz beispielsweise zu Roggen, bezüglich der Grundwasserbelastung beobachtet werden), der Filterung der Ergebnisse, z.B. hinsichtlich der Lage sowie die Ergänzung durch ALKIS-Daten und Luftbildaufnahmen aus mehreren Jahren.

Im dritten Anwendungsfall, dem Monitoring von Streuobstbeständen konnte keine eindeutige Zustimmung oder Ablehnung hinsichtlich des Nutzens sowie des Erkenntnisgewinns generiert werden. Das Potential des Anwendungsfalls wurde als hoch eingeschätzt, wie die weiteren

potentiellen Anwendungen zeigen, jedoch merkten die Teilnehmenden an, dass eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Genauigkeit der erzielten Ergebnisse nötig wäre. Dann wäre nach Meinung der Teilnehmenden die Übertragung der Methode auf innerörtliche Bäume zur Vorbereitung von Baumkatastern, das Monitoring von Fällungen oder umgestürzten Bäumen oder auch die Detektion von Fahrzeugen genannt, um den innerörtlichen Parkflächen zu verschiedenen Zeitpunkten auszuwerten.

Das Feedback zum WebGIS war durchweg positiv. Es wurde als einfach und benutzerfreundlich eingeschätzt. Einige Anmerkungen zu den bestehenden Funktionen konnten und können genutzt werden, um das WebGIS weiter zu verbessern (Verschiebbarkeit von Graphen, Polygon-Auswahl für größere Gebiete, Import und Export von Daten, ...).

Der gesamte Prozess wurde zum einen in einem Ergebnisprotokoll festgehalten, außerdem können die Ergebnisse aus den Kurzbefragungen als Anhaltspunkte für die Herausforderungen und Hemmschwellen bei den Befragten dienen. Die Erkenntnisse dazu, sowie zu den abgeleiteten Potentialen interaktiver Geodaten und der Empfehlung für die praktische Anwendung, wurden im „Leitfaden für die Nutzung von Daten und Tools zur Sensibilisierung für Veränderungsprozesse in ländlichen Regionen in Deutschland“ (Leitfaden GeoSen 2024) aufbereitet.

Aufgrund der geringen Rücklaufzahl wurde von einem zweiten Workshop in Präsenz abgesehen und stattdessen das WebGIS mithilfe des generierten Feedbacks überarbeitet und zur freien Erprobung freigeschaltet. Die oben genannten Gruppen wurden erneut eingeladen, das WebGIS selbstständig zu verwenden und mithilfe einer Umfrage Feedback zu geben. Die vollständig ausgefüllten Umfragen (n = 2) implizieren, dass die Anwendung des WebGIS und die Verwendung der Anwendungsfälle einer Einleitung, z. B. in Form eines Tutorials oder Informationspanels zur Erläuterung der Funktionsweise des WebGIS und der Anwendungen bedürfen, analog zur Einführung im Workshop.

Insgesamt konnten mithilfe des Workshops sowie des Feedbacks aus dem freien Zugang zum WebGIS wertvolle Erkenntnisse über die entwickelten Anwendungen, zu den Herausforderungen und den Potentialen beim Einsatz von interaktiven Geodaten, KI und Fernerkundung in der Verwaltung erzielt werden.

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass mithilfe kostenlos verfügbarer Satellitendaten, die weltweit zur Verfügung stehen, sowie Luftbildaufnahmen unterschiedliche Anwendungen zur Beobachten von Landnutzungsveränderungen entwickelt werden können, die unmittelbaren Nutzen durch die Bereitstellung in einem WebGIS bringen und welche in verschiedensten europäischen Regionen zur Anwendung kommen können. Der enge Austausch mit potentiellen Anwendern und Anwenderinnen in Befragungen, Interviews und dem Workshop ermöglichte die Ableitung von Faktoren, die der Implementierung von Bedeutung sind sowie von Potentialen und Hemmnissen bei der Verwendung.

1.3.6 Zusammenarbeit im Verbund

Im Rahmen des Projekts wurde eine enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern etabliert und gefördert. Um den Projektfortschritt zu besprechen, fanden regelmäßige Online-Meetings mit den Partnern des deutsch-polnischen Verbundes statt. In diesen wurden jeweils der aktuelle Stand und Ergebnisse sowie das weitere Vorgehen besprochen.

Ein zentrales Element der Zusammenarbeit bildeten außerdem die beiden Workshops im Juli 2023 an der TU Darmstadt sowie im September 2023 an Universität für Landwirtschaft in Krakau, die den Austausch zwischen den Beteiligten und die Planung gemeinsamer Lösungsansätze für die weiteren Projektschritte erleichterten. Im Rahmen der Workshops wurden zudem Weiterbildungsmöglichkeiten durch Vorträge zum Sentinel-Programm der ESA, einer Besichtigung von Streuobstwiesenbeständen im Raum Mainz-Bingen, geleitet von der Landwirtschaftskammer RLP, und durch den Austausch mit Vertretern ländlicher Gemeinden in Polen geschaffen. Abschließend erfolgte die Präsentation der Projektergebnisse der beteiligten Projektpartner im Rahmen des "Post-Project Symposium for Artificial intelligence and geodata for sensibilisation of local communities for sustainable spatial development" im Juni 2024 in Krakau.

Im deutschen Verbund TU Darmstadt – CORAMaps wurden zudem die Ergebnisse des Projektes in zwei gemeinsamen, interdisziplinären Publikationen festgehalten, dadurch die Sichtbarkeit der Forschungserkenntnisse gesteigert und ein Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion geleistet.

Zusammenfassend hat die enge Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung des Forschungsprojekts beigetragen und die Basis für zukünftige Kooperationen gelegt.

2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Nachfolgend werden die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises der finanziellen Mittel dargestellt, die im Rahmen des Projekts verwendet wurden:

1. Personalkosten
 - Position 0812: € 149.339,98
2. Dienstreisen:
 - Position 0846: € 573,57

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der ländliche Raum in Europa ist mit den unterschiedlichsten Herausforderungen konfrontiert. Stadt-Land-Beziehungen sollen gestärkt, Nutzungskonkurrenzen von Freiräumen gesteuert und nachhaltig entwickelt werden, Schutzgebiete und wertvolle landwirtschaftliche Flächen sollen erhalten bleiben. Darüber hinaus gilt es, dem Klimawandel zu begegnen und Anpassungsstrategien zu entwickeln sowie den Ansprüchen einer sich verändernden Bevölkerungsstruktur gerecht zu werden. Im Projekt GeoSen wurden mithilfe gezielter Literaturrecherchen sowie der Einbeziehung von Akteuren in der räumlichen Entwicklung Herausforderungen identifiziert (vgl. Kapitel 1.3.1).

Zur Bewältigung dieser Herausforderungen sind unterschiedliche Strategien erforderlich. Insbesondere bei der Analyse großer Datenmengen sind automatisierte Verfahren und Auswertungen als Instrumente zu berücksichtigen. Mithilfe dieser können personelle und finanzielle

Aufwände reduziert und Lösungen übergreifend bereitgestellt werden. Die Raumbbeobachtung mittels Fernerkundung bietet dabei eine grenzübergreifende, flächendeckende und kontinuierliche Datengrundlage, die in Verbindung mit automatisierten Verfahren wichtige Informationen zur Bewertung der verschiedenen Herausforderungen bieten kann. Welche Anforderungen konkret für eine Herausforderung bzw. einen Anwendungsfall bestehen, ist individuell unterschiedlich. Im Projekt wurden für die untersuchten Herausforderungen Anforderungsprofile entwickelt, um gezielte Anwendungen zu entwickeln, die sinnvolle Lösungen bieten können (vgl. Kapitel 1.3.2).

Ein Ziel bei der Entwicklung von Lösungsstrategien sollte die Implementierung im Arbeitsablauf der die Herausforderungen bearbeitenden Stellen sein. Hierzu muss eruiert werden, welche Vorstellungen und Anforderungen bei der technischen und visuellen Umsetzung bei diesen bestehen. Hierzu wurden zunächst Anwendungen entwickelt, die das Verständnis für die potentiellen Möglichkeiten der Verwendung von Fernerkundungs- und KI-Methoden fördern sollten (vgl. Kapitel 1.3.3). Da auf Seiten DLM ebenfalls das hierfür notwendige Know-How existierte, wurden über die Anforderungen des Projektes hinaus auch von DLM zwei Anwendungen entwickelt, die durch CORA im WebGIS implementiert wurden (vgl. Kapitel 1.3.4). In diesem konnten die Anwenderinnen und Anwender praktisch erfahren, wie eine mögliche Umsetzung aussehen könnte und welche Funktionen geboten werden können. Die niedrigschwellige Erprobung in einem Online-Workshop ermöglichte ein direktes Feedback (vgl. Kapitel 1.3.5).

Durch die Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Landmanagement und Landschaftsarchitektur in Krakau konnte ein bilateraler Austausch entstehen, der es ermöglichte, die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den ländlichen Herausforderungen zu verstehen und länderübergreifende Anwendungen zu betrachten (vgl. Kapitel 0). Die entwickelten Anwendungsfälle sind nicht nur in Deutschland relevant, auch in anderen europäischen Ländern bestehen ähnliche Herausforderungen, für die die Anwendungen Lösungsimpulse geben können.

4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses

Ergebnisse und Erkenntnisse können in verschiedenen Themenbereichen erreicht werden. Nachfolgend werden der Nutzen und die Verwertbarkeit der Ergebnisse aus wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Sicht sowie die Anschlussfähigkeit dargelegt.

Wissenschaftliche Erfolge

Im Rahmen des Projektes konnten mithilfe der durchgeführten Interviews, der Befragung (vgl. Kapitel 1.3.1 sowie Kapitel 1.3.2) und insbesondere dem Anwendungs-Workshop (vgl. Kapitel 1.3.5) wichtige Erkenntnisse zu den Potentialen interaktiver Geodaten, zur praktischen Anwendung von Fernerkundungs- und KI-Methoden in Deutschland sowie dem Umgang mit förderlichen und hemmenden Faktoren gewonnen werden, welche im Leitfaden dokumentiert wurden. Diese Ergebnisse können zur Implementierung automatisierter Monitoringverfahren in Verwaltungen beitragen.

Die entwickelten Anwendungen (vgl. Kapitel 1.3.3) können als Beispiele dienen, welche Art von Daten mithilfe verschiedener Algorithmen bei der Beobachtung von Landnutzungsveränderungen verwendet werden können und eine Grundlage für die Entwicklung weiterer Anwendungen sein. Die von DLM entwickelten Anwendungen (Mahddetektion und Streuobst) werden als OpenSource-Lösung in einem GitHub Repository veröffentlicht und stehen der Allgemeinheit zur Verwendung und Weiterentwicklung zur Verfügung.

Das entwickelte WebGIS (vgl. 1.3.4) dient der Demonstration der Anwendungsfälle und veranschaulicht, wie Monitoringanwendungen visualisiert und benutzerfreundlich zur Verfügung gestellt werden können. WebGIS-Lösungen sind in vielen Verwaltungen bereits Standard, so dass aufgezeigt werden konnte, dass eine Implementation der Anwendungen in bestehende Systeme möglich wäre.

Wirtschaftliche Erfolge

Eine unmittelbare wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse war nicht vorgesehen, sodass im Rahmen des Forschungsprojektes GeoSen keine wirtschaftlichen Erfolge erzielt wurden.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Anwendungen Mahddetektion und Streuobst stehen für die Weiterentwicklung und Implementation in Verwaltungen zur Verfügung. Das aufgezeigte WebGIS kann weiter zur Erprobung neuer oder weiterentwickelter Anwendungen verwendet werden und kann als Prototyp zur Einbeziehung in Verwaltungen angesehen werden. Hiermit können außerdem der Nutzen und die Benutzerfreundlichkeit von Monitoring-Anwendungen in einer neutralen Umgebung im Rahmen von Workshops abgefragt werden.

5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Auf dem Gebiet des Vorhabens sind folgende Fortschritte bekannt geworden, die die gewonnenen Erkenntnisse ergänzen:

- Al-Dousari et al. (2023) untersuchten, inwiefern sich Fernerkundungsdaten und maschinelles Lernen zur Überwachung und Vorhersage von Veränderungen in der Landnutzung und urbanen Ausdehnung eignen. Zu diesem Zweck wurden die Verfahren Random Forest und Multi-Layer Perceptron Neutral Networks eingesetzt. Die Ergebnisse der Studie können dazu beitragen, eine nachhaltige Stadtplanung zu fördern und die Flächenneuinanspruchnahme zu reduzieren und zeigen auf, wie weitere Methoden des maschinellen Lernens bei der Landnutzungs- und Landbedeckungsüberwachung eingesetzt werden können.
- Im Rahmen des Projekts „Nutzung von nah- und fernerkundlichen Daten verschiedener Sensoren für die Entwicklung von alternativen Modellierungsansätzen zur Bewertung von organischem Bodenkohlenstoff (SOC) und seiner Dynamik auf landwirtschaftlich genutztem Grünland auf Moorböden (MoorgruenFE)“ untersuchten Ghazaryan et al. (2024) den Einsatz multisensorischer Fernerkundung, einschließlich optischer und radarbasierter Daten, zur Überwachung von Moorlandschaften. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial der Datensynergien zur Verbesserung des Landmanagements und zur Unterstützung von Naturschutzprojekten.
- Im Projekt „Nature 4.0“ entwickelten Zeuss et al. (2024) ein vernetztes Sensorsystem für die integrierte Überwachung der Biodiversität. Fernerkundungsdaten von Satelliten, Drohnen und Flugzeugen wurden mit bodengestützten Sensoren kombiniert, um detaillierte Einblicke in Biodiversitätsmuster und ökologische Prozesse zu erhalten. Die Studie zeigt, dass diese Ansätze eine kosteneffiziente, hochauflösende und automatisierte Überwachung von Arten und Ökosystemen ermöglichen und so wichtige Daten für Naturschutzmaßnahmen liefern können.

6 Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Veröffentlichungen des Projekts sowie die im Rahmen dessen gehaltenen Vorträge aufgeführt. Die Teilnahme an Workshops erfolgte in Verbindung mit der Präsentation von Projekt(teil)ergebnissen und wird nicht gesondert aufgeführt. Nicht aufgeführt sind Vorträge im Rahmen von Jour-Fixe-Terminen mit den Projektpartnern.

Publikationen

- Kogel, Julien; Linke, Hans-Joachim; Ritter, Luisa (2024): Leitfaden für die Nutzung von Daten und Tools zur Sensibilisierung für Veränderungsprozesse in ländlichen Regionen in Deutschland. Ergebnisbericht des Forschungsprojekts GeoSen. [Projekthomepage](#)
- Guntrum, Maximilian; Huhn, Markus; Kogel, Julien; Linke, Hans-Joachim; Ritter, Luisa (2025): WebGIS zur automatisierten Beobachtung von Landnutzungsänderungen. In: *Flächenmanagement und Bodenordnung* (1/25)
- Ritter, Luisa; Kogel, Julien; Huhn, Markus (2025): Einsatz von Fernerkundungsdaten und KI-Methoden zur nachhaltigen Landnutzung. Eingereicht in: *Natur und Landschaft*. (Sollte die Publikation bis 06/2025 nicht veröffentlicht werden, erfolgt die Veröffentlichung in TU Prints)

Vorträge und Workshops

- Kogel, Julien; Mayer, Miriam (2023): Presentations and discussions of current stat for work package 3 by TU Da. Vortrag im Rahmen des 1. Austausch-Workshops GeoSen am 17.07.2023 in Darmstadt.
- Mayer, Miriam (2023): Interactive In-depth analysis of remote sensing data for focus topics in Germany. Vortrag im Rahmen des 1. Austausch-Workshops GeoSen am 18.07.2023 in Darmstadt.
- Kogel, Julien (2023): Aktueller Bedarf zur Auswertung von Fernerkundungsdaten in der kommunalen Praxis. Werkstattbericht zum Forschungsprojekt GeoSen. Vortrag im Rahmen des 26. IKGIS Workshop am 01.03.2023 in Münster (Hessen).
- Kogel, Julien; Ritter, Luisa (2023): Presentation and discussion of current state for work package 4 by TUDa. Vortrag im Rahmen des 2. Austausch-Workshops GeoSen am 20.09.2023 in Krakau.
- Guntrum, Maximilian; Huhn, Markus; Kogel, Julien; Linke, Hans-Joachim; Ritter, Luisa (2024): Planspielworkshop. Forschungsprojekt GeoSen. Vortrag im Rahmen des GeoSen Anwendungs-Workshops am 09.04.2024, Online.
- Linke, Hans-Joachim (2024): Evaluation of interactive geodata to sensitize local planning authorities. Vortrag im Rahmen des "Post-Project Symposium for Artificial intelligence and geodata for sensibilisation of local communities for sustainable spatial development" am 14.06.2024 in Krakau.

7 Literaturverzeichnis

- Al-Dousari, A. E., Mishra, A. & Singh, S. (2023). Land use land cover change detection and urban sprawl prediction for Kuwait metropolitan region, using multi-layer perceptron neural networks (MLPNN). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(2), 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.05.003>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz/Umweltbundesamt (Hrsg.). (2022). *Die Wasserrahmenrichtlinie – Gewässer in Deutschland 2021: Fortschritte und Herausforderungen*. Bonn, Dessau.
- EEA Geospatial Data Catalogue. (2022). *Natura 2000 (vector): Metadata*.
- Hessisches Statistisches Landesamt. (2023). *Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für Hessen bis 2070*. Wiesbaden.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Krüger, T., Schorcht, M. & Meinel, G. (Hrsg.) (2021). *Zur Entwicklung der Flächenneuanspruchnahme in Deutschland*. Rhombos-Verlag, Berlin.
- Lange, N. de. (2020). *Geoinformatik in Theorie und Praxis: Grundlagen von Geoinformationssystemen, Fernerkundung und digitaler Bildverarbeitung* (4., grundlegend überarbeitete und erweiterte Auflage). *Lehrbuch*. Springer Spektrum.
- Leitfaden GeoSen. (2024). *Leitfaden für die Nutzung von Daten und Tools zur Sensibilisierung für Veränderungsprozesse in ländlichen Regionen in Deutschland: Ergebnisbericht des Forschungsprojekts GeoSen*. Darmstadt.
- Ministerkonferenz für Raumordnung. (2016). *Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland*. Berlin.
- Nohl, A.-M. (2017). *Interview und dokumentarische Methode: Anleitungen für die Forschungspraxis* (5., aktualisierte und erweiterte Auflage). *Lehrbuch*. Springer VS. <http://www.springer.com/> <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16080-7>
- OpenCV. (2022). *Open Source Computer Vision Library (OpenCV)*.
- Ritter, L., Kogel, J. & Huhn, M. (2025). Einsatz von Fernerkundungsdaten und KI-Methoden zur nachhaltigen Landnutzung. *Natur und Landschaft*.
- Schmieder, K., Krismann, A., Balko, J. & & Küpfer, C. (2011). *Die Streuobsterhebung in Baden-Württemberg 2009* (Berichte des Instituts für Landschafts- und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim Beiheft 26).
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. (2022). *Demografischer Wandel in Rheinland-Pfalz: Sechste regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Bad Ems.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Zeuss, D., Bald, L., Gottwald, J., Becker, M., Bellafkir, H., Bendix, J., Bengel, P., Beumer, L. T., Brandl, R., Brändle, M., Dahlke, S., Farwig, N., Freisleben, B., Friess, N., Heidrich, L., Heuer, S., Höchst, J., Holzmann, H., Lampe, P., . . . Nauss, T. (2024). Nature 4.0: A networked sensor system for integrated biodiversity monitoring. *Global change biology*, 30(1), e17056. <https://doi.org/10.1111/gcb.17056>

8 Anhang

8.1 Interview-Leitfaden

Forschungsprojekt GeoSen

Künstliche Intelligenz und Geodaten zur Sensibilisierung für eine zukunftsfähige räumliche Entwicklung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

landmanagement

Interview-Leitfragen zur Identifizierung von geeigneten Untersuchungsregionen

Einführung

In dem vom BMBF-geförderten Forschungsprojekt sollen Tools entwickelt werden, mit denen Regionen, Städte und Gemeinden durch ein fortlaufendes automatisiertes Monitoring der Landnutzung auf Grundlage von Satellitendaten frühzeitig Veränderungen der Landnutzung identifizieren und darauf aufbauend geeignete Maßnahmen ergreifen können. Hierzu sollen Algorithmen entwickelt werden, mit denen historische Landnutzungsänderungen aus Satellitendaten identifiziert werden können, um diese dann zukünftig anzuwenden. Gesucht werden Regionen, Kreise, Städte und Gemeinden bei denen in den letzten Jahrzehnten Landnutzungsänderungen eingetreten sind, um eine entsprechende Datengrundlage generieren zu können und damit die Grundlage für ein zukünftiges „automatisiertes“ Landnutzungs-Monitoring zu entwickeln.

Erfahrungen

Welche Arten von Veränderung in der Landnutzung kamen in dieser Region am häufigsten vor?

Gibt es Entwicklungen, die Ihnen besonders positiv oder negativ aufgefallen sind?

Gibt es Kommunen in Ihrem Landkreis bei denen Sie besondere Veränderungen in der Landnutzung wahrgenommen haben?

Werden Satellitenbilder bei Ihnen bereits für Monitoring verwendet? Wenn ja, für welche Zwecke?

Prognosen

Wie wird sich die Landnutzung künftig verändern (kurz- oder langfristig)?

Welche Teilregionen des Kreises sehen Sie hierbei besonders im Fokus?

Welche Themen/Faktoren werden, Ihrer Ansicht nach, eine wichtige Rolle in der regionalen Landnutzung spielen?