



Ritter, Luisa; Kogel, Julien; Huhn, Markus; Guntrum, Maximilian; Linke, Hans-Joachim

## Einsatz von Fernerkundungsdaten und KI-Methoden zur nachhaltigen Landnutzung

Use of remote sensing data and AI methods for  
sustainable land use



### Förderung

Das Verbundvorhaben „GeoSen - Künstliche Intelligenz und **Ge**odaten zur **Sens**ibilisierung für eine zukunftsfähige räumliche Entwicklung“ der Partner der Technischen Universität Darmstadt (Fachgebiet Landmanagement/Raum- und Infrastrukturplanung), der Agraruniversität Krakau (Fachgebiet Landmanagement und Landschaftsarchitektur), CORAmaps GmbH (Prof. Dr.-Ing. Damian Bargiel) und GEOMATIC (Michał Wyczątek-Jagiello), wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01DS22003A vom 01.07.2022 bis 30.06.2024 gefördert.

---

## **Abstract**

---

Eine nachhaltige Flächeninanspruchnahme und der Erhalt schützenswerter Landschaften stellen zentrale Themen dar. Der vorliegende Beitrag untersucht die Einsatzpotenziale von innovativen Analysemethoden von Fernerkundungsdaten zur Verbesserung des Monitorings von Naturschutzmaßnahmen und Landnutzungsänderungen. Das spezifische Monitoring erfolgte mittels Bilddaten-Analyse aus Satellitendaten sowie durch gezielte Auswertung von Luftbilddaten aus Befliegungen. Hierzu wurden entsprechende Auswertungsarithmetiken entwickelt, die je nach Anwendungsfall Geodaten und Statistiken ausgeben. Visualisiert und zur weiteren Analyse bereitgestellt wurden diese mittels eines webgestützten Geoinformationssystems, welches in einem Workshop mit Experten evaluiert wurde. Es kann festgestellt werden, dass die Verarbeitung von Fernerkundungs- und Geodaten mit den Methoden der künstlichen Intelligenz Fachanwender beim Monitoring von Naturschutzmaßnahmen und Landnutzung effektiv unterstützen können. Dadurch können Entwicklungen in Natur- und Landschaftsschutz besser nachvollzogen und bei Bedarf früher gegengesteuert werden.

---

## **1 Einleitung**

---

Dem Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ wird eine erhöhte Bedeutung in der deutschen Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsstrategie zugesprochen (§ 3a Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)). Er birgt ein hohes Einsparungspotenzial zugunsten der CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz. Damit einher geht ein verstärktes Interesse an einem nachhaltigen Flächenmanagement. Die Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlungszwecke soll bis 2030 auf 30 Hektar pro Tag reduziert werden (Ziel 11.1.a, BPA 2018). Gleichzeitig werden im Europäischen Raum sich verschlechternde Zustände in Naturräumen in Verbindung mit klimatischen Risiken beobachtet und zunehmende Verschlechterungen prognostiziert (EEA 2024). Entsprechend besteht ein internationales Interesse an der Entwicklung und Erprobung innovativer Methoden zur Erkennung, Beobachtung, qualitativen sowie quantitativen Auswertung von Landnutzungsänderungen anhand von Fernerkundungsdaten.

Die im Projekt verwendeten Daten entstammten zum einen dem Copernicus-Programm der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und umfassten optische Satellitenbilder (Sentinel-2), welche in einer räumlichen Auflösung von 10 – 60 m vorliegen sowie Radardaten (Sentinel-1), die in einer Auflösung bis zu 5 m vorliegen. Diese Daten werden mit einer Wiederholungsrate von 3 bis 5 Tagen erfasst, wodurch engmaschige Monitoringanwendungen ermöglicht werden. Zum anderen wurden die aus den Befliegungen der Bundesländer abgeleiteten Orthophotos (ATKIS-DOPs) verwendet, die in einer Auflösung von 20 cm vorliegen und in regelmäßigen Abständen erneuert werden (in Hessen bspw. im 2-Jahresturnus). Die verwendeten Daten stehen kostenfrei zur Verfügung und bieten somit eine geeignete Grundlage für wiederkehrende Analysen.

Der folgende Beitrag fasst die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojekts GeoSen zusammen und diskutiert insbesondere die daraus gewonnenen Erkenntnisse im Kontext des Naturschutzes. In fünf Projektphasen wurden zunächst die Arten von Landnutzungsänderungen innerhalb der deutschen Untersuchungsgebiete anhand von Experteninterviews mit behördlichen Vertretern und Vertreterinnen erhoben. Darauf aufbauend

wurde eine Umfrage durchgeführt, um mögliche Anwendungsfälle zu identifizieren und Informationen zu aktuellen Monitoring-Praktiken im Bereich von Landnutzungsänderungen zu erhalten. Aus den Ergebnissen der Interviews, der Umfrage und der Potenzialrecherche wurden Anwendungsfälle entwickelt, die in einem webgestützten Geoinformationssystem (WebGIS) bereitgestellt und anschließend in einem Expertenworkshop evaluiert wurden.

---

## **2 Potentialanalyse**

---

An den initialen Interviews waren maßgeblich Vertreter und Vertreterinnen der Kreisentwicklung, den Unteren Naturschutzbehörden sowie der Abteilungen für Landwirtschaft beteiligt. Methodisch wurden die Interviews anhand eines Leitfadens strukturiert (Nohl 2017) und zur Gewinnung von praxisbezogenen Informationen inhaltlich an Ansätze der diskursiven Sozialforschung angelehnt (Ullrich 2020; Renner, Jacob 2020). Übergeordnet wurden Fragen zu den bisherigen Erfahrungen der Behörden mit aktuellen Veränderungen in der Landnutzung sowie zu übergeordneten Trends gestellt, die aus der jeweiligen Fachdisziplin in der Vergangenheit wahrgenommen wurden.

Aus den Interviewergebnissen wurden in Anlehnung an Kuckartz, Rädiker (2020) die aktuellen Herausforderungen und Berührungspunkte mit Landnutzungsänderungen qualitativ ausgewertet und zusammengefasst. Viele Aufgaben, z.B. das Monitoring von naturschutzrechtlichen Ausgleichsmaßnahmen, erfordern zeitaufwendige Vor-Ort-Aufnahmen, um den aktuellen Zustand und etwaige Pflegemaßnahmen zu dokumentieren.

Im Ergebnis lassen sich aktuelle Entwicklungstrends zu drei thematischen Schwerpunkten zusammenfassen:

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

Aufbauend auf den Interviewergebnissen und den sich daraus ergebenden Potentialen und Herausforderungen in den unterschiedlichen Bereichen erfolgte eine inhaltliche Vertiefung auf den Anwendungsbereich Naturschutz. Eine zweite Befragung wurde mit einem digitalem Fragebogen zur Anwendung von Fernerkundungsdaten im Naturschutz durchgeführt. Als Zielgruppe wurden alle Unteren Naturschutzbehörden (UNB) in Hessen und Rheinland-Pfalz adressiert, von denen 30 Behörden die Umfrage vollständig ausfüllten. Die Umfrage umfasste fünf beispielhafte Anwendungsbereiche, nämlich naturschutzrechtliche Kompensationsmaßnahmen, Habitate, Streuobstwiesen, Naturschutzgebiete natürliche Sukzession (Abbildung 1).

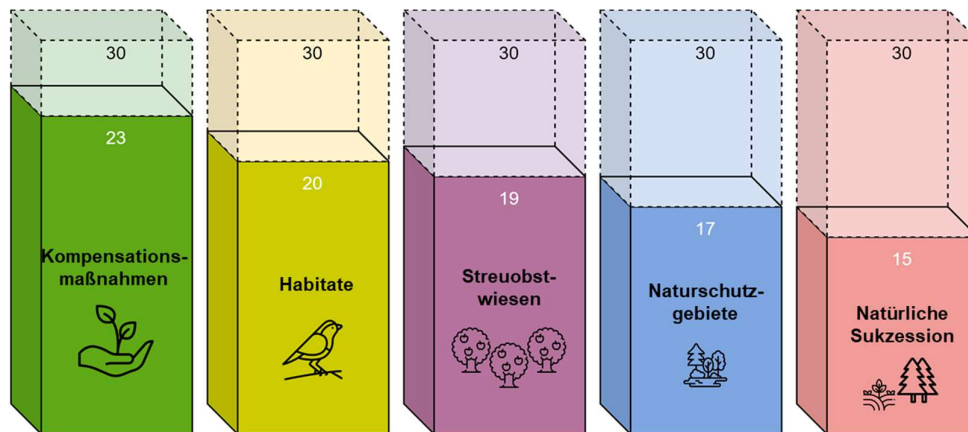


Abbildung 1: Umfrageergebnis zum Interesse an Automatisierung der vorgestellten Anwendungsfälle.

Hierbei wurde der Bedarf einer automatisierten Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Identifizierung von Landnutzungsänderungen im Praxisalltag erhoben. Für alle untersuchten Anwendungsbereiche wurde von mindestens 50 % der Befragten eine Automatisierung des Monitorings als interessant eingestuft, wobei das größte Interesse mit über 75 % der Befragten bei Kompensationsmaßnahmen bestand.

Gleichzeitig diente die Umfrage der Identifizierung derzeit bereits genutzter Geodaten und den aktuell verwendeten Methoden des Monitorings. Im Ergebnis zeichnet sich ab, dass viele Behörden bereits mit digitalen Geodaten arbeiten, diese aber primär manuell in Verbindung mit Ortsbegehungen auswerten und in ein GIS einpflegen. Es bestehen nur geringe Erfahrungswerte im Umgang mit automatisierten Auswertungsmethoden. Als besonders zeit- und arbeitsaufwendig wurde das Monitoring von Kompensationsmaßnahmen bewertet. Eine Erkennung von kleinräumigen Kompensationsmaßnahmen erwies sich trotz hohem Interesse auf Grund der verfügbaren Datengrundlage als ungeeignet für die Entwicklung eines Anwendungsbeispiels. In der Einstufung der Relevanz und Umsetzbarkeit hebt sich das Monitoring von Streuobstwiesen hervor. Seitens der UNBs wird hier ein erhöhtes Potenzial zum Einsatz von Fernerkundungsdaten zur Erleichterung der Monitoring-Aufgaben gesehen.

### 3 Monitoring-Anwendungen

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Interviews sowie der Umfrage wurden praktische Anwendungen für Monitoringaufgaben entwickelt. Diese wurden hinsichtlich der Umsetzbarkeit auf Basis von Fernerkundungsdaten evaluiert und drei spezifische Anwendungsfälle identifiziert, nämlich "Mahddetektion", "Fruchtfolge" und "Streuobstwiesen". Für alle drei Anwendungsfälle wurde eine WebGIS-Lösung umgesetzt, die Anwendern einen einfachen Zugriff auf Daten und Auswertungen ermöglicht.

#### Mahddetektion

Die Mahd von Grünland stellt einen wichtigen Beitrag zum Erhalt von Lebensräumen für Flora und Fauna dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Mähen selbst eine vorübergehende Veränderung des Lebensraums bewirkt, welche sich auf Rückzugsmöglichkeiten, Brutplätze und das Nahrungsangebot für verschiedene Arten auswirken kann. Intensive menschliche Eingriffe, insbesondere in Form landwirtschaftlicher Praktiken, können das Gleichgewicht der

Tier- und Pflanzenarten jedoch erheblich stören und sollten daher vermieden werden (Hampicke et al. 2014). Ein besonders kritischer Eingriff ist die Mahd zu ungünstigen Zeitpunkten, da sie die Entwicklungszyklen vieler Arten negativ beeinflusst (Humbert et al. 2012). Hampicke et al. (2014) stellen in ihrer Literaturlauswertung fest, dass die Mahd unabhängig vom jeweiligen Zeitpunkt zum Tod vieler Individuen führt, diese Anzahl jedoch durch eine Reduzierung der Häufigkeit und die geschickte Wahl des Zeitpunktes verringert werden kann. Daher wurde als erster Anwendungsfall ein Tool entwickelt, um die Einhaltung nach §12 Abs. 2 Satz 3 HeNatG vorgegebener Mahdzeitpunkte aus Fernerkundungsdaten abzuleiten.

Zur Beobachtung der Vegetation kann der normalisierte differenzierte Vegetationsindex (NDVI) eingesetzt werden. Der Index misst das Verhältnis reflektierter Rot- und Nahinfrarotstrahlung. Gesunde Vegetation reflektiert lediglich einen geringen Anteil des roten Lichts, während gleichzeitig eine erhöhte Reflektion der Nahinfrarotstrahlung zu beobachten ist (Rucker, Sellers 1986). Der NDVI gesunder, grüner Vegetation nimmt dadurch höhere Werte an als weniger vitale Vegetation. Zudem erlaubt der NDVI eine Interpretation der Vegetationsdichte. Weber et al. (2022) untersuchten mithilfe von Sentinel-2 Aufnahmen und dem daraus abgeleiteten NDVI und zeitgleichen Webcam-Bildern die Einsatzmöglichkeit von Satellitenbildern bei der Veränderung von Grünland. Sie konnten zeigen, dass die Satellitenbilder ein zuverlässiges Monitoring ermöglichen.

Dieser Zusammenhang wurde für die Entwicklung des ersten Anwendungsfalles verwendet, bei dem ein automatisiertes Monitoring aus Sentinel-2 Bildern und dem daraus abgeleiteten NDVI erfolgt. Der Nutzer erhält für eine zu untersuchende Fläche ein Ausgabediagramm, das den Verlauf des NDVI darstellt (vgl. Abbildung 2) und kann bei deutlichen Änderungen des NDVI automatisch benachrichtigt werden, um das Ereignis zu prüfen. Auf diese Weise können Mahdzeitpunkte großflächig automatisiert verfolgt und einem engmaschigen Monitoring unterzogen werden.

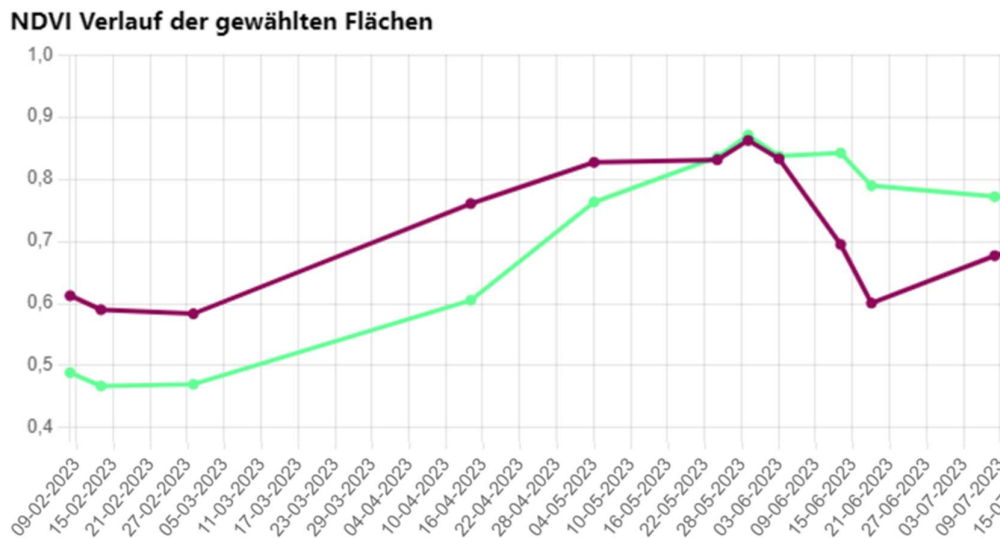


Abbildung 2: Ausgabediagramm des WebGIS: NDVI-Verlauf zweier ausgewählter Flächen.

## **Fruchtfolge**

Die Fruchtfolge, ein zentrales Prinzip der Landwirtschaft zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, spielt nicht nur hinsichtlich nachhaltig erzielbarer Erträge, sondern auch hinsichtlich des Naturschutzes eine bedeutende Rolle. Durch den gezielten Wechsel der angebauten Pflanzenarten auf demselben Feld wird die Bodengesundheit verbessert und die Biodiversität gefördert (Kreye, Rauber 2020). Fruchtfolgen verhindern den einseitigen Nährstoffabbau und verringern den Einsatz synthetischer Düngemittel und Pestizide, was zur Schonung der natürlichen Ressourcen beiträgt. Zudem unterbrechen Fruchtfolgen die Lebenszyklen von Schädlingen und Krankheiten, was den ökologischen Pflanzenschutz unterstützt. Durch die wechselnde Nutzung des Bodens wird Erosion reduziert, und die Bodenstruktur bleibt intakt. Weiterhin tragen vielfältige Anbausysteme zur Förderung der Artenvielfalt bei, indem sie Lebensräume für verschiedene Tier- und Pflanzenarten schaffen (Jürgens et al. 2023). Insgesamt unterstützt die Fruchtfolge den Erhalt gesunder Böden und stabiler Ökosysteme, was wesentlich für die Ziele des Naturschutzes ist und die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion langfristig sichert.

Der Einsatz von Satellitendaten zur Überwachung des Fruchtwechsels bietet zahlreiche Vorteile. Er ermöglicht eine großflächige, kontinuierliche Überwachung ohne den Bedarf an physischer Präsenz vor Ort. Dies ist besonders für die Erfüllung von Naturschutzaufgaben nützlich, da es eine genaue Dokumentation und Einhaltung von Fruchtfolgen ermöglicht. Technisch werden hierzu optische Satellitendaten und Radardaten miteinander fusioniert, um die verschiedensten Eigenschaften der Pflanzen erkennen zu können. Moderne Algorithmen der Bildverarbeitung und maschinelles Lernen ermöglichen es, die Vegetationstypen anhand spezifischer spektraler Signaturen und strukturelle und feuchtigkeitsbezogene Eigenschaften der Pflanzen zu identifizieren. Die spektralen Signaturen, die von den reflektierten Lichtwellen in verschiedenen Wellenlängenbereichen stammen, variieren je nach Pflanzentyp. Radarsatelliten nutzen Mikrowellen, die im Gegensatz zu optischen Satelliten durch Wolken, Nebel und Regen dringen und unabhängig von Tageslicht arbeiten. Sie interagieren mit der Struktur der Pflanzen, einschließlich Blättern, Stängeln und Ähren. Die Rückstreuung des Radarsignals gibt Aufschluss über die Dichte, Höhe und Rauigkeit der Vegetation. Zudem enthalten Radardaten hochaufgelöste Informationen zum Wassergehalt, da Pflanzen mit einem höheren Feuchtigkeitsgehalt die Radarwellen stärker reflektieren. So wird die Pflanzenstruktur und die Feuchtigkeit der Pflanze je nach Wachstumsstadium erkannt. Durch die Analyse sowohl der optischen, als auch der Radar-Daten kann festgestellt werden, welche

Pflanzen auf welchem Feld angebaut werden und wie sich dies im Laufe der Zeit verändert (vgl. Abbildung 3).

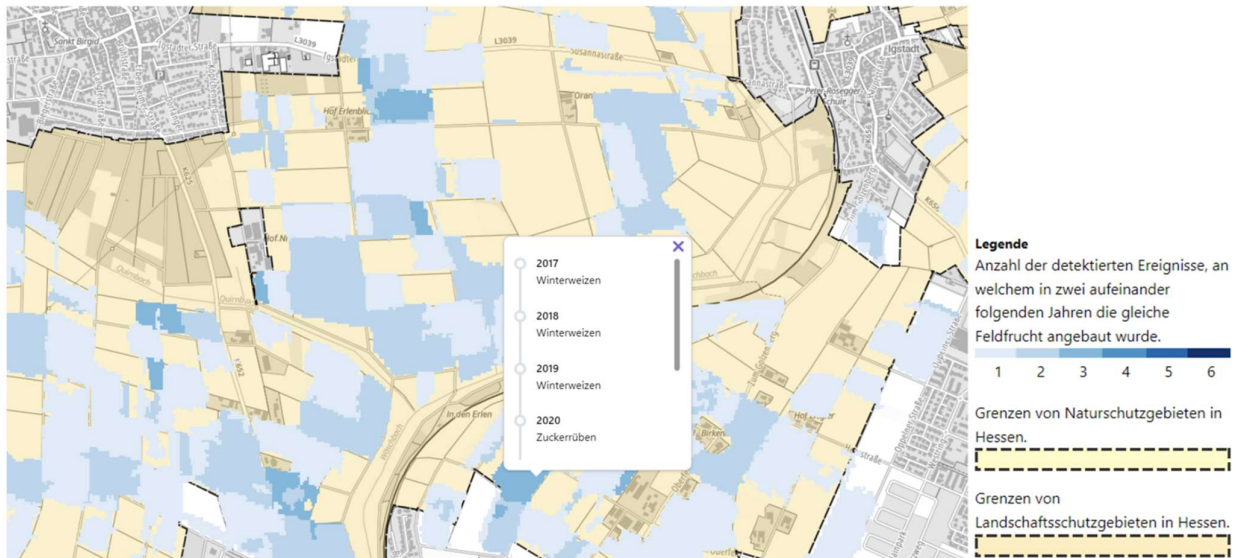


Abbildung 3: WebGIS-Nutzerausgabe für die Detektion der Fruchtfolge.

### Streuobstwiesen

Unter dem Begriff des Streuobsts werden extensive Formen des Obstbaus zusammengefasst, bei dem Obstbäume verschiedener Sorten (bspw. Äpfel, Birnen, Pflaumen, Walnüsse) und Altersstufen in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen auf einer Grünlandunterkultur „ge- oder verstreut“ stehen (Kilian et al. 2023). Streuobstwiesen genießen aufgrund ihres hohen ökologischen Werts und Funktion als biodiverser Lebensraum einen besonderen gesetzlichen Schutz (§ 30 Abs. 2 Nr. 7 BNatSchG). Neben dem Verbot der aktiven Zerstörung geschützter Biotope besteht eine wesentliche Aufgabe im Erhalt und der Pflege dieser Flächen. Das Land Hessen setzt dies in Form einer Streuobstwiesenstrategie programmatisch für den Erhalt von „großen, überregional bedeutsame Streuobstwiesen“ um (HMUKLV 2022). Der hessische Streuobstbestand umfasst ca. 17.500 Biotope auf insgesamt ca. 9.137 Hektar (ebd.). Das kontinuierliche Monitoring einer solchen Fläche ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Gleichzeitig wird die Bewirtschaftung von Streuobstflächen im Vergleich zum gewerblichen Obstbau als unwirtschaftlich kritisiert (Barde, Hochmann 2019). Der Erhalt der Streuobstflächen wird primär über externe Förderprogramme oder behördliche Anordnungen gesteuert. In diesem Zusammenhang ist ein kontinuierliches Monitoring der Bestandsflächen seitens der UNBs unabdingbar. Als Monitoring-Gegenstand kann neben dem Baumbestand selbst (Art, Umfang, Größe, etc.) auch die Fläche zwischen und unterhalb der Bäume angesehen werden. Im Gespräch mit den UNBs wurde ein Interesse an der Identifizierung von Nachpflanzpotenzialen innerhalb der Streuobstflächen geäußert. Einzelne Landkreise erheben manuell die Baumstandorte und ermitteln anhand der vorhandenen Baumabstände geeignete Standorte für Nachpflanzmaßnahmen. Um die Effizienz dieses Vorgehens zu verbessern, wurde eine Monitoring-Anwendung konzipiert, welche auf der Grundlage von Orthophotos Baumstandorte innerhalb bekannter Streuobstwiesenflächen identifizieren soll. Es findet keine Klassifizierung oder Unterscheidung zu anderen Flächenarten innerhalb der Anwendung selbst statt. Dies muss durch den Anwender im Vorfeld vorbereitet bspw. mittels historisch

aggregierten Biotopkartierungen ermittelt werden. Zur Identifizierung der Baumstandorte wurden Open Source Methoden der Computer Vision zur Auswertung von Bilddaten der Open Computer Vision Library verwendet (Villán 2019; OpenCV 2022). Mithilfe einer Polygonauswahl kann der Nutzer einen Bereich markieren, zu dem anschließend die jeweiligen Luftbildkacheln geladen und schrittweise analysiert werden. Hierbei wird der Baumstandort anhand des Schattenwurfs angenähert. Jede Luftbildkachel wird zuerst stärker kontrastiert und unter Anwendung des K-Means-Algorithmus (Miyamoto 2008) in helle und dunkle Bereiche geclustert. Anschließend werden die Kanten zwischen diesen Bereichen mittels eines Kantenerkennungsalgorithmus (Canny-Edge-Detection (Zeelan Basha et al. 2021)) bestimmt und die daraus resultierenden Formen auf Plausibilität als Baumschatten geprüft. In Abbildung 4 ist ein Zwischenschritt dieser Plausibilitätsprüfung beispielhaft visualisiert. Die Konturen der Schattenflächen sind umrandet (Grün), welche jeweils mit einem minimal umrahmenden Rechteck (Bounding Box) umzogen sind (Weiß). Zur Überprüfung der Plausibilität, ob die Schattenfläche zu einem Baumstandort zugeordnet werden könnte, wird ein hypothetischer Radius der Schattenfläche als perfekter Kreis berechnet (Gelb). Basierend auf diesen Größen werden Kennzahlen der Flächenrundung (weißer Einschrieb) und der Seitenverhältnisse (Magenta Einschrieb) ermittelt, die als Indiz für einen Baumstandort genutzt werden können. Im letzten Schritt werden die Koordinaten der Mittelpunkte aller plausiblen Schattenformen als Referenzpunkte für die erkannten Baumstandorte in der WebGIS-Anwendung als Punktoobjekte ausgegeben. Aus diesen können weitere abgeleitete Funktionen wie bspw. die Abstandsmessung zwischen den Punktoobjekten zur Interpretation der Ergebnisse herangezogen werden.

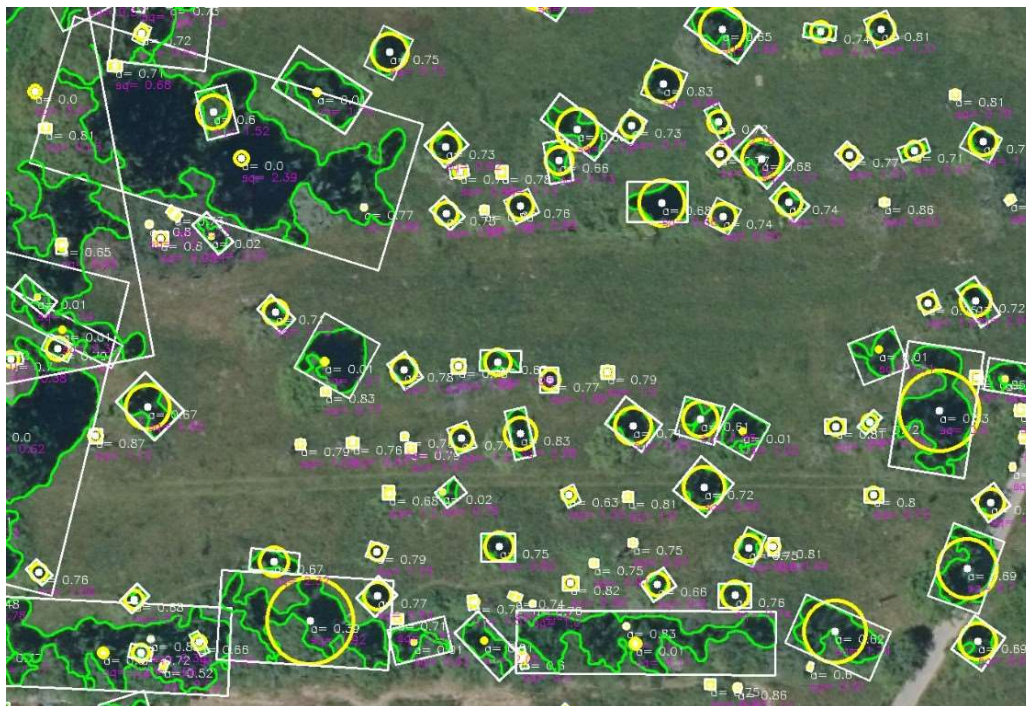


Abbildung 4: Visualisierte Hintergrundprozesse zur Plausibilisierung von Baumstandorten (Orthofotogrundlage HLNUG 2021).

---

#### **4 Evaluierung durch Anwendungs-Workshops**

---

Die in das WebGIS integrierten Anwendungen wurden im Rahmen eines digitalen Workshops im April 2024 Vertreterinnen und Vertretern aus unterschiedlichen Organisationen mit Schnittpunkten zu Natur- und Landschaftsschutz vorgestellt. Ziel war eine praktische Erprobung der entwickelten Anwendungen mit potenziellen Nutzenden, um inhaltliches Feedback zu den Anwendungsfällen sowie Hinweise zur Verbesserung der Anwendbarkeit zu erhalten. Der Workshop gliederte sich in zwei wesentliche Phasen: Zunächst erfolgte die Vorstellung des Projekts und der Projektbeteiligten, der bisherigen Ergebnisse sowie der Anwendungen. Anschließend wurden die einzelnen Anwendungsfälle im WebGIS vorgeführt und die Bedienung erläutert. Danach konnten die Teilnehmenden die Anwendungen selbst erproben. Die Auswertung der Workshops erfolgte anhand der Protokolle und der Ergebnisse der Befragungen, so dass das WebGIS sowie die Anwendungen gemäß den Vorschlägen der Teilnehmerinnen und Teilnehmern optimiert werden konnte.

Das Feedback der Teilnehmenden fiel insgesamt positiv aus und bestätigte das Potenzial der Anwendungsfälle. Die Befragten gaben an, dass die Vorprozessierung und Bereitstellung, beispielsweise über eine Programmierschnittstelle, durch Landes- und höhere Behörden erfolgen sollte, da Einzelauswertungen für untere Behörden mit einem hohen Aufwand verbunden wären. Unter Berücksichtigung der Endnutzenden wurden für alle Anwendungen die Vorprozessierung der Daten, die Angabe von Limitationen, Aussagekraft und Grenzwerten sowie die intuitive Nutzung, beispielsweise durch klare Farbgebungen, als wesentlich erachtet.

---

#### **5 Diskussion und Fazit**

---

Die durchgeführten Interviews und Workshops zeigen das Interesse der beteiligten Behörden an Monitoring-Anwendungen aus Fernerkundungsdaten mit KI-Unterstützung. Für die gezeigten Anwendungsfälle und potentiell weitere Anwendungen, welche in den Workshops genannt wurden, ist die hohe zeitliche Auflösung, welche Satellitendaten liefern können, essentiell, um zeitliche Landnutzungsänderungen für Zwecke des Natur- und Landschaftsschutzes beobachten zu können. Eine zentrale Motivation für die Auswahl der Fallbeispiele und Implementierung der Beispielanwendung war die Untersuchung innovativer Alternativen zu bislang sehr zeit-/arbeitsaufwendigen Monitoring-Aufgaben. Gerade bei Behörden stehen Innovationen Hürden entgegen. Auch bei gemeinwohlorientierten Themenbereichen wie Naturschutz müssen Innovationen gegenüber genutzten Lösungsansätzen einen ökonomischen Vorteil generieren. In den geführten Gesprächen wurde regelmäßig der Mehrwert in Frage gestellt, der durch digitale Analysen mittels KI erzielt werden kann. Besonders kritisch wurde das Verhältnis zwischen Präzision der Ergebnisse und Kostenaufwand angemerkt. Aktuell werden in der Praxis viele Ergebnisse durch manuelle kleinräumige Auswertungen in Verbindung mit Vorortverifizierungen mit einem hohen Kosten- und Zeitaufwand erzielt. Will man diese Genauigkeit auch mittels automatisiert ausgewerteter Fernerkundungsdaten erreichen, steigen die Kosten überproportional an, weil höher aufgelöste Satellitendaten benötigt werden, die derzeit nicht kostenfrei zur Verfügung stehen, und aufwendigere Computing-Prozesse erforderlich werden. Die in den vorstehend beschriebenen Anwendungsfällen eingesetzten, kostenfrei zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten und genutzten Algorithmen erreichen nicht die Auflösung, die bei der

derzeit praktizierten vor Ort Erhebung üblich ist. Die entwickelten Alternativen ermöglichen aber bei einer bedarfsorientierte Abstufung der Anforderungen eine erhebliche Einsparung von Zeit und Kosten. Nicht jede Monitoring-Aufgabe erfordert eine 100 % exakte Wiedergabe der vorhandenen Begebenheiten. Vielmehr reichen, um Entwicklungen von Landnutzungsänderungen identifizieren zu können, weniger hoch aufgelöste Ergebnisse häufig aus und mit diesen Ergebnisse können nach dem Pareto-Prinzip mit 20 % des Gesamtaufwandes 80 % des Maximalergebnisses erreicht werden. Durch die mit den Anwendungsbeispielen nachgewiesenen Möglichkeiten einer automatisierten Auswertung und Ausgabe von Warnmeldungen bei möglichen Fehlentwicklungen können Fachanwender zielgerichtet und dynamisch auf ungewollte Veränderungen reagieren und ggf. geeignete Maßnahmen ergreifen.

Aus technischer Sicht sind die beschriebenen Anwendungsfälle sowie auch weitere Analysen von Natur, Umwelt und auch Siedlungsstrukturen mit den heutigen Mitteln der KI in Verbindung mit den bereitstehenden, kostenfreien Satellitendaten einfach umzusetzen und Mehrwerte zu generieren. Es bleibt aber anzumerken, dass insbesondere die räumliche Auflösung der Satellitendaten des Copernicus-Programms der ESA nicht alle wünschenswerten Analysen zulässt. Jedoch besteht die Möglichkeit diese Daten durch kostenpflichtige Satellitendaten, Befliegungsdaten und jede andere Quelle von Geodaten zu ergänzen und damit die Mehrwerte eines Monitorings deutlich zu erhöhen, wenn dies z.B. für identifizierte Bereiche fachlich notwendig ist. Es bleibt an dieser Stelle abzuwarten, wie sich die Preise für kostenpflichtige Satellitendaten entwickeln, welche zusätzlichen Satellitendaten zukünftig verfügbar sind und welche neuen Anwendungsfälle und Auswertungsoptionen sich hieraus ergeben. Gleichzeitig werden sich auch die Bedürfnisse der Identifizierung von Landnutzungsänderungen verändern. Insofern bietet das hier entwickelte und erprobte Konzept eines koordinierten Austauschs zwischen Behörden, die Informationen zu Landnutzungsänderungen für ihre Arbeit benötigen, und Anbietern einer automatisierten Auswertung von Fernerkundungsdaten eine wichtige Grundlage, um einerseits neue Anwendungen zur Auswertung von Fernerkundungsdaten zu identifizieren und andererseits Anstöße zur Optimierung von Verwaltungsprozessen zu generieren, die den Einsatz neuer Auswerteverfahren effizient ermöglichen

---

## 6 Literaturverzeichnis

---

Barde M., Hochmann L. (2019): Streuobstwirtschaft. Aufbruch zu einem neuen sozialökologischen Unternehmertum. oekom Gesellschaft für ökologische Kommunikation mbH. München: 190 S.

European Environment Agency (EEA) (2024): Europäische Bewertung der Klimarisiken. Zusammenfassung.

Hampicke U., Böcker R., Konold W. /Hrsg. (2014): Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Germany.

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) /Hrsg. (2022): Streuobstwiesen in Hessen.

Humbert J.-Y., Pellet J. et al. (2012): Does delaying the first mowing date benefit biodiversity in meadowland? *Environmental Evidence* 1(1): 9. DOI: 10.1186/2047-2382-1-9

Jürgens K., Bettin K. et al. (2023): Verbesserung der Grünlandbiodiversität durch kraftfutterreduzierte Milcherzeugung. Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit und Pflanzenartenvielfalt und Empfehlungen für die Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik ab 2020 (BioDivMilch) (FKZ: 3517 840 300). Bundesamt für Naturschutz. Bonn: 1133 S.

Kilian S., Jungbeck P. et al. (2023): Streuobst. Erhalten - pflegen - nutzen. Freising-Weihestephan.

Kreye L., Rauber R. (2020): Stabilisierung der Fruchtfolge durch Biodiversität. *Getreidemagazin* 26(3): 21 – 23.

Kuckartz U., Rädiker S. (2020): Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA. Schritt für Schritt. Springer VS. Wiesbaden: 129 S.

Miyamoto S. (2008): Algorithms for Fuzzy Clustering. *Methods in C-Means Clustering with Applications*. Springer Berlin / Heidelberg. Berlin, Heidelberg: 1253 S.

Nohl A.-M. (2017): Interview und dokumentarische Methode. Anleitungen für die Forschungspraxis. Springer VS. Wiesbaden: 123 S.

OpenCV (2022): Open Source Computer Vision Library (OpenCV).

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (BPA) /Hrsg. (2018): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Berlin.

Renner K.-H., Jacob N.-C. (2020): Das Interview. Grundlagen und Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften. Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Heidelberg: 149 S.

Rucker C.J., Sellers P.J. (1986): Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* 7(11): 1395 – 1416. DOI: 10.1080/01431168608948944

Ullrich C.G. (2020): Das diskursive Interview. Methodische und methodologische Grundlagen. Springer VS. Wiesbaden: 1 S.

Villán A.F. (2019): Mastering OpenCV 4 with Python. A practical guide covering topics from image processing, augmented reality to deep learning with OpenCV 4 and Python 3.7. Packt Publishing. Place of publication not identified: 1517 S.

Weber D., Ritter L., Ginzler C. (2022): Webcam-Bilder als Referenzdaten für die satellitengestützte Beurteilung der Grünlandnutzung. *Géomatique Suisse*(5-6).

Zeelan Basha C.M.A.K., Sai Teja T. et al. (2021): Advancement in Classification of X-Ray Images Using Radial Basis Function with Support of Canny Edge Detection Model. In: Smys S., Tavares J.M.R.S., Bestak R., Shi F. (Hrsg.): *Computational Vision and Bio-Inspired Computing. ICCVBIC 2020*. Springer Singapore; Imprint Springer. Singapore: 29 – 40.