



# ABSCHLUSSBERICHT AMBROSIA

Automatisches Monitoring von landwirtschaftlichen Beständen zur Ressourcenoptimierung mittels Operativer Satellitendaten und intelligenter Auswertungsmethoden - 03WIR4809C





# Inhaltsverzeichnis

Präambel	4
1. Kurze Darstellung des Projektes	5
1.1. Aufgabenstellung	5
1.2. Projektvoraussetzungen	6
1.3. Planung und Ablauf des Projektes	6
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand	7
1.5. Kooperation mit Projekt- und Netzwerkpartnern	8
2. Darstellung des Projektes	8
2.1. Projektergebnisse	8
2.2. Voraussichtlicher Nutzen für landwirtschaftliche Partner des Netzwerks	11
2.3. Voraussichtlicher Nutzen für industrielle Partner des Netzwerks	12
2.4. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	12
2.5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	13
2.5.1. Notwendigkeit der Projektarbeiten	13
2.5.2. Angemessenheit der Projektarbeiten	13
2.6. Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Verwertungsplans	13
Abbildungsverzeichnis	14

## Präambel

Entsprechend der Projektlogik ist die Erstellung des Prozessors zur Gewinnung fusionierter synthetischer<sup>1</sup> Fernerkundungsdatenzeitreihen und der Entwicklung einer Prozesskette zur Gewinnung der entsprechenden Datenzeitreihen das Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen DLR und FH Rostock. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit oblag dem DLR im Wesentlichen die konzeptionelle Erarbeitung einer wissenschaftlichen Lösung dieser Zielstellung, während das FH für die technisch-technologische Umsetzung konzeptioneller Entwürfe verantwortlich zeichnete. Während der Phase der Projekterarbeitung wurde ersichtlich, dass sich die vorgesehene Rollenverteilung der Projektpartner nicht in jedem Fall konsequent umsetzen ließ, so dass beide Partner auch in der jeweiligen Funktion tätig wurden. D.h., während der Erarbeitung hat das FH ebenfalls konzeptionell mitgewirkt, während das DLR auch bei der Umsetzung aktiv wurde.

Infolge dieser Abstimmung können Abschnitte beider Ergebnisberichte gleichlautend sein und die gemeinsame Sichtweise der beiden Partner auf die Ergebnisse widerspiegeln. Die folgende Darstellung der Ergebnisse bezieht sich auf die Arbeitspakete:

- AP 1 Entwicklung einer Prozesskette,
- AP 2 Prozessor zur Gewinnung fusionierter synthetischer Fernerkundungsdatenzeitreihen,
- AP 3 Prozessor zur Klassifikation landwirtschaftlicher Nutzungsformen

Im Folgenden werden sowohl die Rahmenbedingungen als auch die Ergebnisse dargestellt.

---

<sup>1</sup> Im Kontext der KI-Anwendungen werden unter dem Begriff „Synthetische Daten“ Daten verstanden, die mittels mathematischer Methoden und Verfahren erstellt werden und die statistischen Eigenschaften, Muster und/oder Korrelationen realer Daten nachbilden sollen. Synthetische Daten stammen in der Regel nicht direkt aus echten Daten. (Caballar, R.D., 2026, Was sind synthetische Daten? - Der Leitfaden zu maschinellem Lernen 2026.- [https://www.ibm.com/de-de/think/topics/synthetic-data.](https://www.ibm.com/de-de/think/topics/synthetic-data)) Im gegebenen Fall werden real gemessene Fernerkundungsdaten zur Herstellung der Datenzeitreihen genutzt. Es werden jedoch nicht nutzbare Bereiche des ursprünglichen Datensatzes mithilfe statistischer und Interpolationsmethoden rekonstruiert und unter Nutzung einer Energiebilanzierung in die Ausgangsdaten eingefügt, so dass der im Ergebnis vorliegende Datensatz als teilsynthetisch betrachtet wird.

## 1. Kurze Darstellung des Projektes

### 1.1. Aufgabenstellung

Fernerkundung kann effizient und kostengünstig flächendeckend, aktuelle Daten der Erdoberfläche bereitstellen. Daher werden zunehmend für die Umwelt- und Landschaftsmodellierung Fernerkundungsdaten als Informationsquelle genutzt, um die zeitlich-räumliche Dynamik von Umweltprozessen in der Umwelt- und Landwirtschaft zu verstehen und prognostizieren zu können.

Fernerkundung ermöglicht eine effiziente und kostengünstige Erfassung flächendeckender Daten der Erdoberfläche in unterschiedlichen Frequenzbereichen. Aus diesem Grund greift Umweltforschung neben bewährten Verfahren zunehmend auf die Fernerkundung als eine ergänzende Informationsquelle zu.

Umweltprojekte, die auf Fernerkundungsdaten zugreifen, stellen besondere Anforderungen an die Datenqualität. Diese können als Korrektheit, Vollständigkeit, Konsistenz, Aktualität und Einheitlichkeit zusammengefasst werden, damit Daten sinnvoll für Analysen und Berichte genutzt werden können.

Eine bedeutende Herausforderung besteht jedoch in der Bereitstellung hochwertiger Fernerkundungsdaten, die jedoch durch Faktoren wie Bewölkung, eingeschränkte geometrische oder spektrale Auflösung beeinträchtigt werden können. Mittels Datenfusion können derartige Dateneinschränkungen unter gegebenen Umständen minimiert oder im Optimalfall eliminiert werden.

Im Rahmen des AMBROSIA-Projektes sollen satellitengestützte Erdbeobachtungsdaten für die Umwelt- und Landwirtschaftsmodellierung ausgewertet werden können. Dabei sind insbesondere Datenzeitreihen von Interesse, weil mit ihrer Hilfe die räumlich-zeitliche Dynamik von Prozessen verstanden und nachvollzogen werden können.

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Projekt AMBROSIA einen innovativen Ansatz zur Datenfusion aus verschiedenen Datenquellen, der die räumlich-zeitlichen Nachteile der Ausgangsdaten minimieren soll, wobei die Innovation des Ansatzes darin besteht, dass dieser auf dem Energieerhaltungssatz und direkt auf den Rohdaten beruht und somit eine Weiterverarbeitung der Daten ermöglicht wird.

Die Kombination von hochauflösenden geometrischen Fernerkundungsdaten mit zeitlich hochfrequenten, aber grob aufgebauten Fernerkundungsdaten wurde in der Vergangenheit durch andere Studien untersucht und durchgeführt. Dabei handelt es sich in der Regel um Fusionsalgorithmen, die auf bereits ermittelten Datenzeitreihen von abgeleiteten Indizes/Ergebnissen aufsetzen, um die Datenzeitreihen zu erstellen. Werden diese Ergebnisse dann in Modelle integriert, können neue Erkenntnisse gewonnen werden, wobei allerdings keine anderen Fernerkundungsprodukte gewonnen werden können.

Durch das vorgeschlagene Verfahren werden die fernerkundungsgestützten Eingangsdaten verarbeitet, d.h., eine Gewinnung einer geometrisch sowie zeitlich hochaufgelösten Fernerkundungsdatenzeitreihe ist möglich, wobei durch die Beachtung der pixelbezogenen Energiebilanz eine weitergehende Gewinnung von Datenprodukten gegeben ist.

Die entwickelte Technologie umfasst Vorverarbeitungsmethoden, Algorithmen zur Wolkenrekonstruktion und eine adaptive Qualitätskontrolle.

## 1.2. Projektvoraussetzungen

Die Realisierung des AMBROSIA-Projekts setzte auf frei verfügbare Satellitendaten unterschiedlicher geometrischer und zeitlicher Auflösung aus etablierten Datenquellen der NASA und ESA, die bereits geometrisch, radiometrisch und atmosphärisch korrigiert bereitgestellt wurden.

Zur Durchführung des Projektes wurden regelmäßige Entwicklungs- und Programmiersessions initiiert, gemeinsame Konsultationsgespräche via Internetkommunikation durchgeführt und Feedbackzyklen implementiert.

Durch diese Abstimmungen konnte sichergestellt werden, dass iterative Anpassungen an den Algorithmen und Prozessen direkt während der programmtechnischen Konzeptumsetzung auf Praxistauglichkeit überprüft werden konnte und direkt in die Erarbeitung bzw. Programmierung einfließen konnten. Diese enge Zusammenarbeit führte allerdings auch dazu, dass die ursprünglich geplante Rollenverteilung (DLR: konzeptionelle Erarbeitung der Lösung, FH: programmtechnische Realisierung der Lösung) nicht konsequent durchgehalten werden konnte und es stellenweise zu Rollenwechseln kam.

Um die Anforderungen einer operativen Fernerkundungsdatenverarbeitung zu erfüllen, waren kontinuierliche Validierungen und Tests entwickelter Module erforderlich. Insgesamt bildeten diese Voraussetzungen die Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung und Entwicklung des Projekts.

## 1.3. Planung und Ablauf des Projektes

In der Planungsphase des Projektes wurden die Projektstruktur, Zeitpläne und Meilensteine zwischen den fünf Verbundpartnern definiert und koordiniert. Dies gewährleistete eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit. Durch regelmäßige Konsultationsgespräche und Feedbackzyklen zwischen den Partnern konnten notwendige Anpassungen an den Arbeitsplänen vorgenommen werden, um eventuelle Verzögerungen auszugleichen.

Ursprünglich war der Beginn des Projekts für April 2023 geplant. Aufgrund organisatorischer Rahmenbedingungen musste der Start jedoch auf August 2023 verschoben werden.

Entsprechend der Projektplanung sowie Aufgabenlogik wurden die technischen, personellen und organisatorischen Anforderungen des Projektes bereitgestellt.

Im Fokus der Projektplanung lagen die Definitionen einer klaren Ziel- und Fragestellung, wobei die exakte Formulierung des Forschungsziels, der Forschungsfragen und der Hypothesen abgestimmt wurden. Zielführend war in diesem Zusammenhang die Themeneingrenzung bei Berücksichtigung des theoretischen Hintergrunds und Literaturstands.

Hinsichtlich des abgestimmten methodischen Vorgehens und Designs der zu nutzenden bzw. zu entwickelnden Werkzeuge und Methoden zeigte sich, dass das Projekt zwei getrennte Aspekte einer zu lösenden Aufgabe einschließt, wobei der erste Aspekt in der Datenvorverarbeitung verortet werden kann, während der zweite Aspekt im Bereich der thematischen Datenauswertung angesiedelt ist. Entsprechend wurde die Ressourcen- und Zeitplanung des Projektes schwerpunktmäßig auf die Methodische Datenauswertung ausgerichtet.

Durch eine kontinuierliche Abstimmung und die enge Kooperation aller Beteiligten wurde ein reibungsloser Ablauf des Vorhabens sichergestellt, wobei die Einhaltung der vereinbarten Zeit- und Kostenpläne regelmäßig überprüft wurden.

#### 1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Fernerkundungsdaten stellen heute unbestritten eine der wichtigsten Datenquellen für die regionale bis globale Umweltforschung dar, wobei Satelliten wie Sentinel- und Landsatsatelliten in der Vergangenheit bereits bei vielen Forschungs- und operativen Anwendungen als Informationsquellen genutzt wurden und so zum Beispiel für die Landwirtschaft Informationen für Beratungs-, Entscheidungs- und Handlungsempfehlungen liefern konnten.

Ein wesentlicher Grund dafür folgt aus der Möglichkeit mittels Satellitensystemen großflächige Informationen in kurzer Zeit aktuell zu erheben, so dass schnelle Prozesse und der durch sie verursachten Veränderungen detektiert werden können.

Dabei lassen sich aus rein optischen Signalen viele Zustandsgrößen indirekt und modellbasiert ableiten, wobei ähnliche spektrale Signaturen zu Verwechslungen führen können (z.B. topographische Phänomene, Landnutzungs- und Landbedeckungsklassen, Verteilung, der Homogenität, Heterogenität, Dynamik und Interaktionen von Klassen und Klassenkonfigurationen, boden- und biophysikalischer Parameter wie Substrattypen, Textur, Bodenverteilung, organische Bodensubstanz bzw. Biomasse, Chlorophyllgehalt oder Wachstumsprozesse).

In Bezug auf operative Monitoringeneinsätze weisen passive, optoelektronische Sensor- und Satellitensysteme im sichtbaren und nahinfraroten Bereich mehrere Nachteile wie die i.) Wetter- und Atmosphärenabhängigkeit (erfordert Korrekturalgorithmen zur Minimierung der Dämpfung optischer Signale durch meteorologische Phänomene, wie z.B. Nebel, Aerosole oder Staub; erfordert Rekonstruktionsalgorithmen zur Ergänzung durch von durch Wolken und Wolkenschatten blockierter Signale des Untergrundes), die Abhängigkeit von einer Beleuchtungsquelle, da die Datenaufzeichnung nachts oder bei sehr geringer Beleuchtung stark eingeschränkt ist. Darüber hinaus ist für eine quantitative Auswertung eine direkte Sichtlinie erforderlich, da optische Sensoren und Satelliten eine freie Sicht auf die interessierenden Objekte benötigen.

Allerdings kann eine flächendeckende Datenbereitstellung nicht mit beliebig hoher geometrischer Auflösung realisiert werden, so dass unter Umständen verwertbare Daten zu interessierenden Details mit hoher geometrischer Auflösung nur relativ selten zur Verfügung stehen können. Zudem kommt es im Fall satellitengestützter Datenerhebung durch feste Überflugintervalle zu Datenlücken bzw. unregelmäßige Beobachtungszeiten verursacht durch Bewölkung, da die Systeme nur begrenzt flexibel auf Bewölkung und ähnliche meteorologische Phänomene reagieren können was ein kontinuierliches Monitoring erschwert.

Vor diesem Hintergrund stellt die Bereitstellung kontinuierlicher Datenzeitreihen eine Herausforderung dar. Um dieser gerecht zu werden, müssen durch Bewölkung verursachte Datenlücken geschlossen und Daten unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösungen fusioniert werden, so dass eine Datenzeitreihe erstellt wird, die zeitlich und räumlich hochaufgelöst ist. Die Herausforderung besteht allerdings in der Bereitstellung einer Datenzeitreihe, die weiterverarbeitet werden kann.

Dieses Problems hat sich das Projekt angenommen und eine Datenfusion von geometrisch hochaufgelösten Daten mit zeitlich hochfrequenten, geometrisch grob aufgelösten Daten, entwickelt. Dabei legt das Verfahren den Energieerhaltungssatz zugrunde, so dass im Ergebnis eine synthetische, räumlich-zeitlich hochaufgelöste Datenzeitreihe erstellt wird, die weiterverarbeitet werden kann.

## 1.5. Kooperation mit Projekt- und Netzwerkpartnern

Die erfolgreiche Durchführung des Projekts AMBROSIA beruht wesentlich auf der interdisziplinären Zusammenarbeit der ArtIFARM-Netzwerkpartner sowie auf dem engen Austausch zwischen den verschiedenen AMBROSIA-Partnern.

Das AMBROSIA-Konsortium setzte sich aus fünf Partnern zusammen:

- Hochschule Neubrandenburg (Lead),
- Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD),
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),
- Daberkower Landhof AG,
- data experts GmbH.

Die Zusammenarbeit der Projektpartner erfolgt durch regelmäßige Projekttreffen, Konsultationsgespräche und technische Workshops. Hier wurden projektinterne Fortschrittsberichte präsentiert bzw. offene Aspekte diskutiert, die auf gemeinsame Lösungsansätze abzielten.

Entsprechend der Projektlogik wurden zwei wesentliche Entwicklungsstränge definiert. Dazu wurden durch die Partner spezifische Kompetenzen und Ressourcen zur Realisierung der Projektziele mit in das Projekt eingebracht.

In den zwei benannten Entwicklungssträngen erfolgt die Zusammenarbeit durch bilaterale Abstimmungen, um entsprechenden Arbeitspakete zu realisieren:

- Beispielsweise koordinierte und konzipierte das DLR aufgabengemäß Lösungen zur Verarbeitung von Fernerkundungsdaten, während das Fraunhofer IGD an der Entwicklung und Implementierung der technisch-technologischen Module auf Grundlage der Konzeptarbeit des DLRs entwickelte.
- Zudem stellte das DLR den Projektpartnern agrarmeteorologische und andere Umweltdaten des Teststandortes DEMMIN zur Entwicklung von Algorithmen zur Verfügung.
- Als weiteres Beispiel kann die Daberkower Landhof AG dienen, die ihre landwirtschaftlichen Flächen sowie Ertrags- und Anbaudaten für die Validierung von Ergebnissen bereitstellte, um die Praxistauglichkeit entwickelter Lösungen zu überprüfen.

## 2. Darstellung des Projektes

### 2.1. Projektergebnisse

Ein wesentliches Ziel der Projektpartner DLR (Konzeptarbeit) und Fraunhofer IGD (technisch, technologische Realisierung) bestand in der Konzeption und Entwicklung einer operativen, automatisierten Fernerkundungsdatenverarbeitung zur Gewinnung synthetischer Datenzeitreihen als Grundlage zur Erstellung von Fernerkundungsdatenprodukten für die Umwelt- und landwirtschaftliche Pflanzenproduktion.

Im Ergebnis des AMBROSIA-Projekts wurde eine robuste Verarbeitungskette für die Fusion und Qualitätsanalyse von Fernerkundungsdaten entwickelt, um synthetische Datenzeitreihen erstellen zu können. Dabei wurden für die Konzeption der operativen, automatisierten Fernerkundungsdatenverarbeitung verschiedene Anforderungen identifiziert:

Ein wesentlicher Aspekt der konzeptionellen Arbeit bestand in der Definition der zu realisierenden Sensor- und Datenanforderungen, die als Basis für die Erstellung synthetischer Datenzeitreihen zu berücksichtigen sind. Der Ausgangspunkt für die Produktion ist die Kombination von Fernerkundungsdaten und standardisierten, dokumentierten Metadaten. Diese bilden die Grundlage für eine automatisierte Prozesskette. Darüber hinaus war eine eindeutige Produktdefinition als Grundlage für die Selektion der Ausgangsdaten erforderlich.

In Bezug auf strategische landwirtschaftliche Aspekte war es erforderlich, die räumliche, spektrale und zeitliche Auflösung der Zielanwendung zu berücksichtigen.

Die Erstellung der Prozesskette sowie der dazu erforderlichen Algorithmen von den Rohdaten bis zum Endprodukt lassen sich in zwei Teilketten untergliedern. Die initiale Teilkette ist für die Vorverarbeitung zuständig. Dieser Abschnitt der Prozesskette umfasst im Wesentlichen Korrekturschritte, die der Vorverarbeitung und Standardisierung der Ausgangsdaten dienen. Dies beinhaltet die Georeferenzierung bzw. Orthorektifizierung sowie die radiometrische und atmosphärische Korrektur der Daten. Da sowohl die ESA als auch das USGS zunehmend eine hochqualitative Vorverarbeitung entwickeln und beständig weiterentwickeln, um an die Nutzer standardisierte, höherwertige Vorprodukte auszuliefern, hat sich das Projektteam dazu entschlossen, auf dieser Datengrundlage aufzubauen.

Der zweite Teil der Prozesskette bezieht sich auf die thematische Verarbeitung der vorverarbeiteten Daten. Diese würde solche Arbeitsschritte wie die Segmentierung, Maskierung, Ableitung von Indizes und / oder Parametern oder Klassifikation und Kartierung betreffen. Da der Prozessor zur Erstellung synthetischer Datenzeitreihen auf vorverarbeiteten Daten aufsetzt, jedoch keine Informationsprodukte wie zuvor genannt erstellt, handelt es sich um einen erweiterten Vorverarbeitungsschritt in der Prozesskette.

Durch Nutzung der ESA und USGS Prozessierung kann die Robustheit von Algorithmen gegenüber wechselnden Bedingungen wie Sensorwechsel, saisonale Effekte, unterschiedliche Atmosphärenbedingungen, Wolken/Schatten teilweise umgangen bzw. ausgeschlossen werden. Die formale Beschreibung und Versionierung der Vorverarbeitungsalgorithmen zur Nachvollziehbarkeit erfolgten durch externe wissenschaftliche Gruppen, die in den jeweiligen Themen wissenschaftliche Expertise aufweisen.

In der gegenwärtigen Projektphase wird ein Prototyp eines Prozessors entwickelt, der dazu dient, synthetische Datenzeitreihen zu erstellen. Dieser Prozessor ist mit einer vollautomatisierten Steuerung der Prozesskette ausgestattet, die aus einem Scheduler, einer ereignisgesteuerten Verarbeitung nach Dateneingang, einem Monitoring der Prozessierung, einer Protokollierung und einem Fehlermanagement besteht. Die entsprechenden Fähigkeiten und Schnittstellen sind in dem Prozessor integriert. Die genannten Prozessorfähigkeiten ermöglichen eine Skalierbarkeit mittels Cloud-/Clustering, verteilter Verarbeitung, einem Warteschlangen- und Ressourcenmanagement, die zur Prozessierung großer Datenvolumina erforderlich sind.

Um den etablierten wissenschaftlichen Standards für die Vernetzung von Informationsdaten zu entsprechen, werden standardisierte Schnittstellen wie APIs, OGC-Standards wie WMS/WCS/WFS, STAC sowie offene Dateiformate wie GeoTIFF/NetCDF für die Ein- und Ausgabe vorgesehen.

Wesentlicher Bestandteil einer automatischen Prozessierung ist ein operationelles Qualitätsmanagement, was ein integriertes Qualitätscontrolling bestehend aus Plausibilitätsprüfungen, statistischen Kontrolltest, Vergleich mit möglichen Referenzdaten sowie einem Algorithmus zum Setzen von Flags für die Markierung von besonderen Merkmalen und der Erstellung von Qualitätslayern als Orientierungshilfe für nachgeordnete Verarbeitungsschritte einschließt. Innerhalb des Prozessors zur Datenfusion sind Teilaspekte der Qualitätskontrolle Bestandteil der Verarbeitung, um die Energieverteilung zu kontrollieren. Allerdings erfordert ein zielorientiertes Qualitätsmanagement die Definition von Genauigkeitsanforderungen wie beispielsweise geometrische Genauigkeit, radiometrische Stabilität, thematische Genauigkeit bei Klassifikationen bei gleichzeitiger Einbindung dokumentierter Validierungsergebnisse, so dass eine langfristige Reproduzierbarkeit (fixierte Softwareversionen, dokumentierte Prozesskonfigurationen, stabile Referenzdatensätze) sichergestellt werden kann.

Im Hinblick auf das Datenmanagement und die erforderliche Infrastruktur für die Realisierung des Projektes hat sich das Projektteam auf die Speicher- und Backup-Infrastruktur für Massendaten des Fraunhofer IGD gestützt. Das betrifft auch die schnelle Datenanbindung,

charakterisiert durch die Bandbreite oder die Protokolle für Eingangsdaten. Im gegebenen Fall werden die Datenportale von ESA und USGS genutzt, um die Eingangsdaten abzurufen.

Keine Berücksichtigung fand bisher der Aspekt der Integration in thematische Anwendungen. Der Grund dafür ist durch die Funktion des Prozessors gegeben. Da der Prozessor für die Einbindung in eine Vorverarbeitung von höherwertigen Informationsprodukten geeignet ist, ist es wahrscheinlich, dass nachfolgende thematische Prozessoren auf die synthetischen Datenzeitreihen aufbauen können.

Werden diese Datenprodukte Akzeptanz finden, um in wissenschaftliche Anwendungen integriert zu werden, dann müssen diese Produkte fachlich direkt nutzbar sein, in bestehende thematische Prozesslinien eingebunden und an bestehende GIS/Fachdatenbanken anschließbar sein.

Darüber hinaus sind organisatorische und rechtliche Anforderungen zu klären. In diesem Kontext gilt es, die Klärung von Datenlizenzen, Nutzungsrechten und Datenschutzbestimmungen, die Definition von Zuständigkeiten für den Betrieb, die Wartung und den Support sowie die Vereinbarung von Service-Level-Vereinbarungen, wie etwa Verfügbarkeit und Reaktionszeiten, vorzunehmen. Zudem ist eine langfristige Etablierung in einem wissenschaftlichen Angebot zu gewährleisten. Die Finanzierung der Weiterentwicklung sowie die Entwicklung einer Strategie, um Betrieb, Weiterentwicklung und Anpassung an neue Sensoren/Technologien zu sichern, sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung.

Die erzielten konzeptionellen Ergebnisse des Projekts AMBROSIA zielten auf eine robuste Prozesskette für die Fusion von Fernerkundungsdaten ab. Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern konnten die geplanten wissenschaftlichen und technischen Meilensteine erreicht und wesentliche Grundlagen für die weitere Umsetzung geschaffen werden.

- Konzeptentwicklung zur Umsetzung einer Prozesskette: Es wurden grundlegende Rahmenbedingungen erarbeitet, die eine standardisierte Vorprozessierung sowie eine thematische Auswertung und Integration von Fernerkundungsdaten sicherstellen kann. Dabei wurde auf die Möglichkeit der Einbeziehung von Open-Source Software sowie auf die Einbindung kostenfreier Daten Wert gelegt.
- Innovative Datenfusion: Es wurde ein physikalisch basierter Ansatz zur Datenfusion von geometrisch hoch-, zeitlich geringaufgelöster sowie geometrisch grob-, zeitlich hochaufgelöster Fernerkundungsdaten erfolgreich konzipiert, so dass ein Prototyp implementiert werden kann, um einen synthetischen geometrisch hoch-, zeitlich hochaufgelösten Datensatz/eine Datenzeitreihe abzuleiten. Wesentlicher Bestandteil des Konzeptes ist die Einhaltung der räumlichen Energiebilanz, was besagt, dass keine Energie während des Fusionsprozesses aus Pixeln in andere Pixel eingetragen bzw. von Pixeln ausgetragen werden dürfen. Entsprechend dieser Überlegungen dürfen dann nur Informationen zwischen den Fernerkundungsdaten ausgetauscht werden, die zur Verteilung der Energie innerhalb der grob aufgelösten Daten genutzt werden können. Anschließend werden die Resultate mittels einer Qualitätskontrolle validiert und iterativ optimiert.
- Wolkendetektion und Ergänzung von Datenlücken: Wolken stellen Sichthindernisse dar, die eine Untersuchung der interessierenden Landoberfläche verhindern. Daher wurde ein Konzept für die Detektion von Wolken sowie deren Maskierung entwickelt, um die entstehenden Datenlücken anschließend mittels Interpolation zu ergänzen.
- Qualitätssicherung: Es wurden Module zur Bewertung und zur adaptiven Verbesserung der rekonstruierten Daten konzipiert. Im Ergebnis sollen dabei Vertrauensmasken (Ergebnis- und Qualitätskarten) erstellt werden, die für eine spätere Weiterverarbeitung hinterlegt werden können.

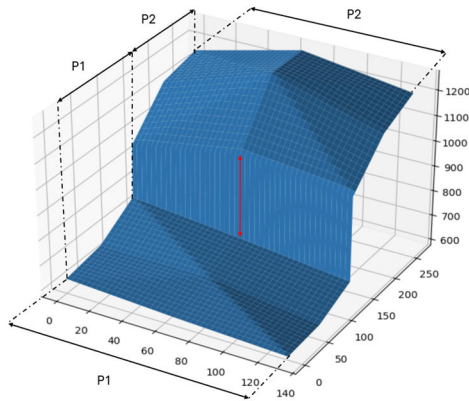


Abbildung 1 Darstellung zwei benachbarter Pixel P1 und P2 mit unterschiedlichen Energieniveaus in einer Subpixelauflösung nach erfolgter erster Energieinterpolation (erkennbar an der dreidimensionalen pyramidenähnlichen Fläche). Bei zu hohen Niveauunterschieden aneinandergrenzender Pixel entstehen an deren Grenzen Unstetigkeiten (erkennbar am Kacheleffekt). Zum Ausgleich dieses Effekts muss die Energie innerhalb der Pixel optimiert verteilt werden (Quelle: Hoppe & Borg, 2026).

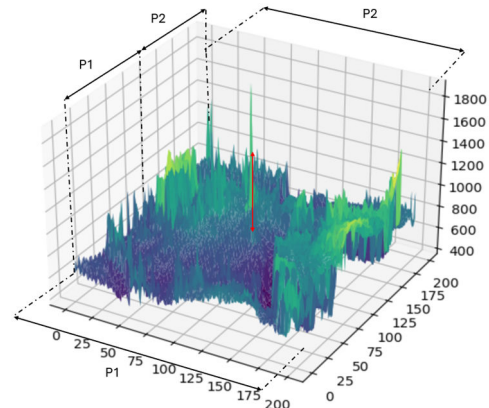


Abbildung 2 Darstellung zwei benachbarter Pixel P1 und P2 nach erfolgter Energiebilanzierung entsprechend Abb. 1 und optimierter Energieverteilung im Subpixelbereich innerhalb der groben Pixel. Im Ergebnis dieser Verteilung kann die Energie verteilt und der Kacheleffekte ausgeglichen werden. Zudem wurde die Struktur des höher aufgelösten Datensatzes energetisch korrekt aufgeprägt (Quelle: Hoppe & Borg, 2026).

Ein wesentlicher Aspekt konzeptioneller Arbeit besteht in der Praxistauglichkeit des Ergebnisses. Das Konzept erscheint zwar theoretisch schlüssig, jedoch ist dessen praktische Umsetzung in bestehende IT-Systeme oder Prozesse eventuell nicht gewährleistet.

Im Rahmen der Entwicklung der Prozesskette und des Prozessors zur Erstellung synthetischer Datenzeitreihen wurden zahlreiche experimentelle Ansätze verfolgt und umgesetzt, um dieser Herausforderung gerecht zu werden. Die Ergebnisse dieser Ansätze sind in das Konzept, die Fusion und die Verarbeitung der Fernerkundungsdaten eingeflossen.

Die Erarbeitung des Prototyps des Fusionsprozessors erfolgte einerseits auf Grundlage des Konzeptes und andererseits iterativ, wobei die Projektpartner gemeinsame Sessions online organisierten und durchführten. Zu diesem Zweck wurden singuläre Lösungsexperimente und komplexe Datenexperimente durchgeführt.

## 2.2. Voraussichtlicher Nutzen für landwirtschaftliche Partner des Netzwerks

Die Nutzung der Fernerkundung sowie von KI-Algorithmen für Anwendungen in der Land- und Forstwirtschaft wird in Deutschland durch die wissenschaftliche Förderpolitik intensiv vorangetrieben, um die wegweisenden Möglichkeiten dieser Technologien gewinnbringend einzusetzen.

Im Rahmen des ArtiFARM-Netzwerkes widmet sich das AMBROSIA-Projekt der zuvor genannten Fragestellung. Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer Methode zur Generierung einer hochauflösenden und kontinuierlichen synthetischen Datenzeitreihe aus Fernerkundungsdaten.

Wie kaum eine andere Produktionsweise ist die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion meteorologischen Bedingungen ausgesetzt. Daher sind kontinuierliche hochaufgelöste

Informationen über zum Beispiel Umweltveränderungen eine der Grundvoraussetzungen für eine verbesserte Prognose von Produktionsprozessen, die agrarrelevante Entscheidungen und Handlungsempfehlungen beeinflussen können, um präventive Maßnahmen für nachhaltige Bewirtschaftungsstrategien bzw. Bewirtschaftungsplänen beruhend auf sich verändernden Umweltbedingungen zu entwickeln und Umweltbelastungen zu minimieren.

Zudem ist die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft eine zentrale Aufgabe des ArtiFARM-Netzwerkes. Beabsichtigt ist, dass die entwickelten Methoden neue Geschäftsmöglichkeiten und Marktpotenziale für kleine und mittelständische Unternehmen eröffnen.

Da sich die Datenfusion als Vorbereitungsschritt für fernerkundungsbasierte synthetische Datenzeitreihen in eine Prozesskette einbindet, schließen sich dann die thematischen Verarbeitungsstufen für die Erfassung und Analyse biophysikalischer Parameter wie Biomasse, Chlorophyllgehalt und / oder Wachstumsstadien an. Ziel dieser Analysen ist dann die teilschlagbezogene Optimierung von Anbauflächen und Fruchtfolgen, wobei der landwirtschaftlich relevante Effekt in einer Reduktion des Agrochemikalien- und Betriebsmitteleinsatzes und einer Steigerung Kosteneffizienz besteht.

### 2.3. Voraussichtlicher Nutzen für industrielle Partner des Netzwerks

Das Team geht davon aus, dass die Entwicklung synthetischer Datenzeitreihen von einigen Date-/Informations Providern aufgegriffen werden wird. Die Analyse von Zeitreihen ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Erstellung von z.B. Ertragsprognosen, wo zeitlich und räumlich hochaufgelöste Daten benötigt werden.

Im Rahmen von Netzwerktreffen des WIR!-Bündnisses konnten mehrere Unternehmen und Forschungseinrichtungen identifiziert werden, die Prognosen in diversen Bereichen der Pflanzenproduktion anstreben. Insofern besteht die Möglichkeit, dass diese auf die Resultate des AMBROSIA-Projektes aufbauen können.

Die Analyse von Datenzeitreihen unter Zuhilfenahme von Wolkenrekonstruktion sowie die darauffolgende Fusion zu synthetischen Datenzeitreihen kann eine signifikante Verbesserung der Prognosen bewirken. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um die sich daraus ergebenden Marktpotenziale zu erschließen und die Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft zu gewährleisten.

### 2.4. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Prozessors zur Gewinnung der synthetischen Datenzeitreihe wurde eine Erfindungsmeldung im DLR und im FH IGD eingereicht. Beide Einrichtungen haben sich diesbezüglich abgestimmt und eine Patentanmeldung unter der Nummer 10 2025116 115.1 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgte in Form interner Berichte und durch Präsentationen auf projektbezogenen Treffen.

## 2.5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

### 2.5.1. Notwendigkeit der Projektarbeiten

Die erbrachten Konzeptarbeiten zur Realisierung der Prozesskette und des Prozessors, wie diese in den Projektzielen definiert wurden, wurden als zwingend erforderlich erläutert.

Gemäß der thematischen und zeitlichen Projektplanung wurde die sparsamste Vorgehensweise gewählt, die zur Umsetzung erforderlich war (insbesondere wurden Online-Meetings für die Konzeptabsprachen und für die Programmierung von Experimenten zwischen DLR und FH-IGD durchgeführt).

Die im Rahmen des Projekts AMBROSIA geleisteten Arbeiten erwiesen sich als notwendig und angemessen, um die anspruchsvollen Ziele des Vorhabens zu erreichen. Die zentrale Notwendigkeit bestand darin, die bestehenden Lücken und Einschränkungen in der Nutzung von Fernerkundungsdaten durch innovative Technologien zu überwinden und die Datenqualität durch physikalisch basierte Datenfusion und Rekonstruktion von Datenlücken aufgrund von Bewölkung zu verbessern. Es wurden lösungsorientierte, zweckmäßige Arbeiten durchgeführt, um die geplanten Zielstellungen zu erfüllen. Die öffentliche Finanzierung war aufgrund des hohen Innovationsgrads und der damit verbundenen technischen und wirtschaftlichen Risiken unerlässlich.

Im Rahmen der für das Projekt geleisteten Arbeiten wurden durch das DLR-Bereitstellungen beigelegt, die die Verfügbarkeit von agrometeorologischen In-situ-Daten des Teststandortes DEMMIN für den zweiten Teil des AMBROSIA-Projektes ermöglichten.

### 2.5.2. Angemessenheit der Projektarbeiten

Die geplanten Personal- und Sachkosten wurden in einem angemessenen Verhältnis zum angestrebten Nutzen bzw. Ergebnis des Projektes geplant. Die Arbeiten entsprachen dem definierten Aufwand.

D.h. die geleistete Arbeit entspricht den bewilligten Zielen. Vor dem Hintergrund der Förderrichtlinien wurden die bewilligten Mittel zur Umsetzung sparsam und angemessen verwendet.

## 2.6. Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Vorhabens sollen entsprechend des Verwertungsplans sowohl wissenschaftlich als auch wirtschaftlich nutzbar gemacht werden, um die Ziele des ArtIFARM-Netzwerks zu erreichen.

Die Ergebnisse sind unter anderem in den Bereichen landwirtschaftliches Monitoring, Umwelt- und Klimaforschung sowie Katastrophenmanagement zu finden.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abbildung zwei benachbarter Pixel unterschiedlicher Energieniveaus. An den Pixelgrenzen entstehen Unstetigkeiten (Kacheleffekt). Zum Ausgleich des Effekts muss die Energie innerhalb der Pixel optimiert verteilt werden. ....	11
Abbildung 2: Abbildung zwei benachbarter Pixel nach erfolgter Energiebilanzierung und optimierter Energieverteilung innerhalb der Pixel. Der Kacheleffekte kann ausgeglichen werden.....	11