

Martin Pingel¹, Christoph Sinn¹, Lisa Holz², Sebastian Klimek³,
Diana Sietz³, Maren Birkenstock², Norbert Röder², Burkhard
Golla¹

Typisierung der Agrarräume Deutschlands

¹Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen,
Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

²Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen, Braunschweig

³Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig



Berichte aus dem Julius Kühn-Institut

231

Kontaktadressen/ Contacts

Dr. Martin Pingel

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Institut für Strategien und Folgenabschätzung

Stahnsdorfer Damm 81

14532 Kleinmachnow

E-Mail: martin.pingel@julius-kuehn.de

Telefon +49 (0) 3946 47-1890

Telefax +49 (0) 3946 47-5203

Wir unterstützen den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen.

Die Berichte aus dem Julius Kühn-Institut erscheinen daher als OPEN ACCESS-Zeitschrift.

We advocate open access to scientific knowledge.

Reports from the Julius Kühn Institute are therefore published as open access journal.

Berichte aus dem Julius Kühn-Institut sind online verfügbar unter https://www.openagrar.de/receive/zimport_mods_00000017

Reports from the Julius Kühn Institute are available free of charge under

https://www.openagrar.de/receive/zimport_mods_00000017

Herausgeber / Editor

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg, Deutschland

Julius Kühn Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Quedlinburg, Germany

ISSN 1866-590X

ISBN 978-3-95547-160-6

DOI 10.5073/20251219-095049-0



© Der Autor/ Die Autoren 2026.

Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).



© The Author(s) 2026.

This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Typisierung der Agrarräume Deutschlands

Typology of agricultural land systems in Germany

Autor(en): Pingel, Martin^{1*}; Sinn, Christoph¹; Holz, Lisa²; Klimek, Sebastian³; Sietz, Diana³; Birkenstock, Maren²; Röder, Norbert²; Golla Burkhard¹

¹Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

²Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen, Braunschweig

³Thünen-Institut für Biodiversität, Braunschweig

*martin.pingel@julius-kuehn.de

Vorwort

Der vorliegende Bericht ist der erste Teil einer Berichtsreihe von vier Berichten, die zusammen den Abschlussbericht „Typologie von Agrarräumen und angepasste Politikziele, Zielbilder und Indikatoren-Sets zur Umsetzung eines Biodiversitätsmonitorings in der Landwirtschaft in Deutschland“ des Verbundprojekts „Entwicklung der grundlegenden Standards für die Umsetzung eines Biodiversitätsmonitorings in der Landwirtschaft (BM–Landwirtschaft)“ darstellen (Projektlaufzeit: 14.05.2019 – 15.09.2023). Die Förderung erfolgte aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank. Das Projekt ist eine Zusammenarbeit der Partner Thünen-Institut (Institut für Biodiversität und Institut für Lebensverhältnisse in Ländlichen Räumen) und Julius Kühn-Institut (Institut für Strategien und Folgenabschätzung). Das Verbundprojekt besteht aus vier Teilprojekten. Für jedes Teilprojekt liegt ein Bericht vor:

- **Teil 1:** Pingel, M., Sinn, C., Holz, L., Klimek, S., Sietz, D., Birkenstock, M., Röder, N., Golla, B. (2026). Typisierung der Agrarräume Deutschlands. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 231. <https://doi.org/10.5073/20251219-095049-0>
- **Teil 2:** Holz, L., Krämer, C., Birkenstock, M., Röder, N., Sietz, D., Pingel, M., Klimek, S., Golla, B. (2026). Bewertung der agrarraumspezifischen Wirksamkeit und Realisierbarkeit existierender Politikziele und -maßnahmen zum Schutz der Biodiversität. Thünen Working Paper 279. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. <https://doi.org/10.3220/253-2026-0>
- **Teil 3:** Sietz, D., Birkenstock, M., Golla, B., Krämer, C., Pingel, M., Holz, L., Röder, N., Klimek, S. (2026). Entwicklung transformativer Zielbilder zur Förderung der Biodiversität und ihrer Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften. Thünen Working Paper 280. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. <https://doi.org/10.3220/253-2026-1>
- **Teil 4:** Pingel, M., Golla, B., Birkenstock, M., Krämer, C., Holz, L., Röder, N., Sietz, D., Klimek, S. (2026). Ableitung und Priorisierung agrarraumspezifischer Indikatoren-Sets für ein Monitoring der Biodiversität in Agrarlandschaften. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 232. <https://doi.org/10.5073/20251219-095701-0>

Die Berichte verweisen aufeinander, können aber auch einzeln, unabhängig von der genannten Reihenfolge gelesen werden. Das erste Kapitel ist in allen vier Berichten identisch und enthält die Einführung in die Problemstellung, die Begründung der Notwendigkeit einer agrarraumspezifischen Ausrichtung des Biodiversitätsmonitorings sowie Ziele und Aufbau des Projektes BM-Landwirtschaft. Ab Kapitel 2 wird auf die spezifische Methodik und Durchführung des jeweiligen Teilprojekts eingegangen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Zusammenfassung	5
Abstract	6
1 Biodiversitätsmonitoring in der Landwirtschaft in Deutschland	7
1.1 Notwendigkeit einer agrarraumspezifischen Ausrichtung des Biodiversitätsmonitorings.....	7
1.2 Wirksamkeit und Realisierbarkeit bestehender Politikziele und-maßnahmen	7
1.3 Zielbilder für eine Transformation von Agrarlandschaften.....	8
1.4 Ableitung und Priorisierung agrarraumspezifischer Indikatoren-Sets	8
1.5 Ziel und Aufbau des Projektes	8
1.6 Struktur des Abschlussberichts	9
2 Methodik der Typisierung der Agrarräume Deutschlands	10
2.1 Ziele und Vorgehensweise	10
2.2 Untersuchungsgebiet und räumliche Auflösung.....	11
2.3 Auswahl der Eingangsvariablen, Datengrundlagen und -verarbeitung	11
2.3.1 Landbedeckung	13
2.3.2 Landschaftsstruktur.....	14
2.3.3 Nutzungsintensität	15
2.3.4 Klima.....	16
2.3.5 Geomorphologie	17
2.4 Umgang mit räumlichen Datenlücken und Maskierung von Gebieten mit geringem Offenlandanteil ..	17
2.5 Cluster-Analyse	19
2.6 Bereitstellung der Daten	20
2.7 Analyse Repräsentanz der bundesweit repräsentativen Stichprobenfläche für die Agrarraumtypen ...	20
2.8 Aggregation auf Gemeinde-Ebene	21
3 Typisierung der Agrarräume: Räumliche Darstellung und Charakterisierung	21
3.1 Regionale Charakterisierung der Agrarraumtypen	21
3.1.1 Ackerbau-dominierte Agrarraumtypen.....	22
3.1.2 Intensive Milchviehhaltung	23
3.1.3 Mosaik-Agrarraumtypen	23
3.2 Darstellung der Eigenschaften der Agrarraumtypen in Bezug zu den Eingangsvariablen	23
4 Betrachtungen der Wirkung von agrarraumspezifischen Faktorenkomplexen auf die Biodiversität	27
4.1 Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität verschiedener Produktionssysteme in den Acker- dominierten Agrarräumen	27
4.2 Zusammenhang von Nutzungsintensität, Produktionssystemen und biophysikalischen Faktoren.....	27
5 Repräsentanz der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen in Bezug auf Agrarraumtypen	28
6 Aggregation der Agrarraumtypen auf Gemeinde-Ebene	28

7	Diskussion der Variablenauswahl und Datenquellen	30
8	Schlussfolgerung.....	32
	Literatur	33
	Abkürzungsverzeichnis.....	39
	Abbildungsverzeichnis.....	40
	Tabellenverzeichnis.....	41
	Danksagung.....	42
	Anhang A: Zusätzliche Tabellen und Abbildungen	43
	Anhang B: Selektion der Klimavariablen	45
	Anhang C: Adressierung der Workshop-Ergebnisse	47

Zusammenfassung

Die intensive landwirtschaftliche Nutzung, verbunden mit hohem Einsatz an synthetischen Düngern und Pflanzenschutzmitteln, hohen Viehbesatzdichten sowie dem Verlust an Struktur- und Lebensraumvielfalt, gilt als zentraler Treiber des Rückgangs der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Deutschlands. Bislang fehlt jedoch eine umfassende Datengrundlage zum Zustand und zu den Trends der Biodiversität in Agrarlandschaften sowie den wesentlichen Treibern von Biodiversitätsveränderungen. Bestehende bundesweite Monitoring-Programme beschränken sich auf ausgewählte Artengruppen (z. B. Vögel, Tagfalter) oder bestimmte Lebensräume (*Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert*, High Nature Value Farmland) und berücksichtigen dabei nicht die möglichen Ursachen von Veränderungen der Artenvielfalt und -zusammensetzung. Zudem mangelt es an einem räumlich differenzierten, agrarraumspezifischen Ansatz, der die Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Biodiversität regional differenziert abbildet.

Ein regional differenziertes Monitoring erfordert das Verständnis wiederkehrender Muster im Hinblick auf Treiber und Zustand der Biodiversität. Angesichts der Vielfalt der Agrarlandschaften und Produktionssysteme in Deutschland ist hierfür eine Typisierung der Agrarräume Deutschlands notwendig, die die komplexen Wechselwirkungen zwischen Biodiversität und landwirtschaftlicher Nutzung charakterisiert.

Der vorliegende Bericht stellt die konzeptionellen Grundlagen, die Methodik und die Ergebnisse eines solchen Typisierungsansatzes für die Agrarräume Deutschlands vor. Grundlage für die Typologie der Agrarräume Deutschlands ist eine Cluster-Analyse, die in enger Abstimmung mit Expert*innen im Rahmen einer Workshop-Reihe entwickelt wurde. In einem partizipativen Prozess wurden 15 Eingangsvariablen aus den Bereichen Landbedeckung, Landschaftsstruktur, Nutzungsintensität, Klima und Relief identifiziert und analysiert, um regionaltypische, charakteristische Muster für die Agrarräume Deutschlands zu ermitteln.

Die resultierende Typology unterscheidet acht Agrarraumtypen, einschließlich Ackerbau-dominierten, Milchviehhaltung-dominierten und Mosaik-Typen. Die charakteristischen Kombinationen der in der Analyse verwendeten Variablen geben Hinweise auf die kausalen Zusammenhänge zwischen Umweltbedingungen, landwirtschaftlicher Produktion und Landschaftsstruktur, und bilden damit eine wichtige Grundlage zur Identifikation agrarraumspezifischer Herausforderungen für den Erhalt biologischer Vielfalt.

Die Typisierung der Agrarräume Deutschlands stellt somit eine zentrale Grundlage für die Entwicklung regional-spezifischer Zielbilder zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität, daran angepasster Politikmaßnahmen und schließlich regional-differenzierter Indikatoren dar. Darüber hinaus kann sie als räumlicher Bezugsrahmen für ein bundesweites Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften dienen.

Stichwörter: Klassifizierung; Agrarräume; Monitoring; Geodaten

Abstract

Highly intensive agriculture, accompanied by a high use of synthetic fertilizers and pesticides as well as a loss of habitat diversity, is a major driver of the decline of biodiversity in Germany's agricultural landscapes.

At present, no comprehensive data are available on the status and the trends of biodiversity in agricultural landscapes. Current national monitoring programs focus on selected taxa, such as butterflies or birds, or on specific habitats, such as the monitoring of High Nature Value Farmland. These programs also lack integration of monitoring of potential drivers of change in farmland biodiversity. In addition, they lack an agricultural system-specific framework that takes into account regionally different cause-effect relationships between agricultural practice and biodiversity.

A prerequisite for a regionally differentiated monitoring is knowledge of recurring patterns of pressures and the status of farmland biodiversity. Given the diversity of agricultural landscapes and production systems, it is crucial to develop a typology of agricultural land systems that characterizes the interactions between farmland biodiversity and agricultural practices.

This report presents the background, methodology and characteristics of a typology of agricultural land systems in Germany. It is based on a cluster analysis using input variables of land cover, landscape structure, land use intensity of different production systems, and biophysical indicators, such as climate and topography. Experts from agriculture, conservation, and administration sectors contributed to refine both the indicator selection and the clustering results.

Clustering revealed eight distinct agricultural land system types in Germany, including arable cash crop-dominated, livestock-dominated, and mosaic land use agricultural land system types. Each type represents a characteristic combination of indicators and provides important insights into the specific pressures on farmland biodiversity. Therefore, the typology provides an important basis for derivation of regionally specific indicators of pressures and state of biodiversity, for the development of regionally specific transformative guiding principles for the conservation and promotion of biodiversity, and as a spatial framework for a national monitoring of biodiversity in agricultural landscapes.

Keywords: land system classification; farmland biodiversity; conservation; unsupervised classification; geo-data analysis; agricultural intensification; monitoring

1 Biodiversitätsmonitoring in der Landwirtschaft in Deutschland

1.1 Notwendigkeit einer agrarraumspezifischen Ausrichtung des Biodiversitätsmonitorings

In Deutschland werden rund 50 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt. Damit kommt der Landwirtschaft eine bedeutende Rolle für die Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt zu. Die Intensivierung und Spezialisierung der Nahrungsmittelproduktion der vergangenen Jahrzehnte haben die Landwirtschaft in Deutschland und weltweit grundlegend umgestaltet. Zwar konnten dadurch die Erträge an Grundnahrungsmitteln oft vervielfacht werden, sie haben aber in Hochleistungsregionen wie Europa, China und Nordamerika bereits Ertragsplateaus erreicht (Cassman & Grassini, 2020). Gleichzeitig hat der damit einhergehende hohe Einsatz an synthetischen Düngern und Pestiziden sowie der Verlust an Struktur- und Lebensraumvielfalt den Rückgang der Artenvielfalt in Agrarlandschaften massiv vorangetrieben (Beckmann et al., 2019; EEA, 2019; IPBES, 2019). So sind assoziierte Ökosystemleistungen, auf die die Landwirtschaft angewiesen ist, wie die Bestäubung von Kultur- und Wildpflanzen, die biologische Schädlingsregulierung, das Nährstoffrecycling und das Wasserrückhaltevermögen oft stark beeinträchtigt worden (Tscharrntke et al., 2005; Power, 2010; Emmerson et al., 2016). In Deutschland liegt derzeit keine umfassende und solide Datenbasis auf nationaler Ebene vor, die es erlaubt, den Zustand, die Trends und die Treiber von Biodiversitätsveränderungen in Agrarlandschaften wissenschaftlich belastbar zu bewerten. Daher kann die Wirksamkeit von agrarumweltpolitischen Maßnahmen, die die Biodiversität in Agrarlandschaften fördern sollen, nur sehr eingeschränkt beurteilt werden. Daraus ergibt sich die Frage, wie die zugrundeliegenden Faktorenkomplexe gezielt erfasst und aussagekräftige Indikatoren für ein umfassendes Biodiversitätsmonitoring in der Landwirtschaft auf nationaler Ebene abgeleitet werden können?

Agrarlandschaften in Deutschland spiegeln die hohe Heterogenität der Topographie, der Böden und der Klimaregionen wider und sind geprägt durch die Art und Intensität der landwirtschaftlichen Produktion. Dabei unterscheidet sich die Intensität der Bewirtschaftung in Bezug auf den Einsatz von Düngemitteln, Pestiziden und Viehdichten zwischen Betrieben und Regionen. Des Weiteren können Klima, Relief und Bodenbeschaffenheit die landwirtschaftliche Produktion begünstigen oder ihr enge Grenzen setzen. Aber auch historische und sozio-ökonomische Parameter beeinflussen die Art und Intensität der landwirtschaftlichen Produktion (Poschlod, 2017). Neben der Nutzungsintensität unterscheiden sich Agrarlandschaften hinsichtlich der Landbedeckung (z. B. Anteil Acker- und Grünland) und der Landschaftsstruktur, wie die Dichte an Grenzlinien zwischen Agrarflächen und der Größe landwirtschaftlicher Flächen. Diese hohe Vielfalt macht es unmöglich, einheitliche, über alle Agrarlandschaften hinweg zutreffende Antworten oder Bewertungen auf ökologische, ökonomische oder soziale Fragen und Problemstellungen zu finden. Jedoch zeigen sich in dieser Vielfalt räumlich wiederkehrende Muster (Dou et al., 2021; Wolff et al., 2021), die aus typischen Wirkungszusammenhängen zwischen Komponenten der Biodiversität, der Nutzungsintensität und der Landschaftsstruktur resultieren (Meier et al., 2022). Diese Muster bieten die Chance, agrarumweltpolitische Maßnahmen auf typische Ursache–Wirkungsbeziehungen auszurichten und Maßnahmen in solchen Regionen zu priorisieren, in denen sie die größte ökologische Wirkung entfalten können (Sietz et al., 2022; Oberlack et al., 2023). Um diese Chance zu nutzen, besteht die dringende Notwendigkeit, die Agrarräume in Deutschland gemäß der Faktorenkomplexe, die die vielfältigen Interaktionen zwischen Biodiversität und Landwirtschaft charakterisieren, zu klassifizieren.

1.2 Wirksamkeit und Realisierbarkeit bestehender Politikziele und-maßnahmen

Aktuell bestehende Politikziele und -maßnahmen sind kaum an agrarräumlichen Gegebenheiten ausgerichtet, sondern werden als gleichermaßen gültig und relevant für alle Agrarräume behandelt. Dadurch bleiben die Chancen, die spezifische Ursache-Wirkungsbeziehungen der unterschiedlichen

Agrarräume zur Erreichung von Politikzielen und -maßnahmen bieten, ungenutzt. Wirksamkeit und Realisierbarkeit der Politikziele und -maßnahmen werden dadurch stark eingeschränkt und eine zielgerichtete Politikumsetzung ist nicht möglich, da die Wirkung von bestimmten politischen Maßnahmen zum Teil stark vom regionalen Kontext abhängen. Dies zeigt sich unter anderem daran, dass der Trend des Biodiversitätsverlusts bislang nicht durch naturschutz- oder agrarumweltpolitische Ziele und Maßnahmen aufgehalten oder gar umgekehrt werden konnte (Kleijn et al., 2011; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina et al., 2020). Die Vielzahl an Politikzielen und -maßnahmen, die auf den Schutz der Biodiversität in der Agrarlandschaft ausgerichtet sind, erschwert darüber hinaus einen systematischen Überblick und die Darstellung von Synergien oder Konflikten zwischen einzelnen Politikzielen und -maßnahmen. Eine Systematisierung und Zusammenfassung von Politikzielen und -maßnahmen ist somit notwendig, um in einem weiteren Schritt deren Wirksamkeit und Realisierbarkeit in den unterschiedlichen Agrarräumen zu bewerten und damit einen Beitrag zu agrarräumlich differenzierten Politikgestaltung zu leisten.

1.3 Zielbilder für eine Transformation von Agrarlandschaften

Klar definierte Zielbilder, die hier synonym zum Begriff Leitbild (Lendi, 1995; Zimmermann, 2009) verwendet werden, sind eine wesentliche Voraussetzung dafür, biodiversitätsfördernde Maßnahmen effektiv umzusetzen und das Monitoring auf relevante Ursache–Wirkungsbeziehungen zuzuschneiden (Dieker et al., 2021). Die Zielbilder zeigen, wie sich Biodiversität und Landwirtschaft in Deutschland in der Zukunft idealerweise ergänzen. Sie beschreiben einen angestrebten Zustand von Biodiversität und Ökosystemleistungen in der Landwirtschaft, der aus einer Transformation, d. h. im Kontext dieses Projektes einer biodiversitätsorientierten Umgestaltung von Agrarsystemen und Agrarlandschaften, resultiert. Eine Beschreibung agrarräumlich differenzierter Zielbilder existiert für Deutschland bislang nicht. Es ist daher erforderlich, agrarraumspezifische Zielbilder zu definieren, die die Heterogenität der Agrarräume angemessen widerspiegeln. Diese angepassten Zielbilder ermöglichen es, eine Vorstellung davon zu entwickeln, wie ein Agrarraum und der jeweilige landwirtschaftliche Sektor sich im Sinne des Biodiversitätsschutzes bis 2030 entwickeln sollen. Hierdurch wird es möglich, agrarumweltpolitische Maßnahmen und das Monitoring auf agrarraumspezifische Ursache-Wirkungsbeziehungen auszurichten.

1.4 Ableitung und Priorisierung agrarraumspezifischer Indikatoren-Sets

Eng verbunden mit der limitierten Lenkung von Agrarumweltmaßnahmen ist auch die Nutzung weniger und bundesweit einheitlicher Indikatoren zur Beschreibung von Zustand, Trends und Treibern der Biodiversität. Viele agrarische Lebensräume, Organismengruppen und biodiversitätsrelevante Einflussgrößen (Treiber) werden nicht umfassend und hinreichend detailliert erfasst. Die bisher etablierten Monitoring-Programme mit Bezug zu Agrarlandschaften verwenden national oder länderspezifisch einheitliche Indikatoren für sehr unterschiedliche Typen von Agrarräumen. Aus den daraus berichteten Trends lässt sich keine wissenschaftlich verlässliche Beratung für eine zukünftige Ausrichtung und Ausgestaltung der Agrarumweltpolitik ableiten. Ein wesentlicher Vorteil eines agrarraumspezifischen Ansatzes besteht daher darin, dass zukünftig Indikatoren im Monitoring eingesetzt werden können, die stärker auf die jeweiligen Charakteristika von Agrarräumen und die agrarraumspezifischen Zielbilder ausgerichtet sind. Damit können Ursachen für Trendentwicklungen differenzierter erfasst und die Agrarumweltpolitik besser informiert werden.

1.5 Ziel und Aufbau des Projektes

Ziel des Projektes BM-Landwirtschaft war es, die grundlegenden Standards in Vorbereitung der konkreten Umsetzung eines Biodiversitätsmonitorings in der Landwirtschaft in Deutschland zu entwickeln. Diese umfassen:

1. eine Typologie der Agrarräume Deutschlands,
2. die agrarraumspezifische Bewertung der Wirksamkeit und Erreichbarkeit bestehender Politikziele und -maßnahmen,
3. die Entwicklung agrarraumspezifischer, transformativer Zielbilder
4. sowie die Ableitung und Priorisierung agrarraumspezifischer Sets von Indikatoren zur Überprüfung der Zielerreichung.

Eine wesentliche Grundlage zur Erreichung der Projektziele war die Beteiligung und Mitwirkung externer Expert*innen aus Wissenschaft, Politik und Administration. Dazu wurde eine Online-Workshop-Reihe mit sechs Veranstaltungen zwischen Januar 2021 und März 2023 durchgeführt. Insgesamt beteiligten sich 27 Expert*innen, davon gut die Hälfte regelmäßig. Alle Expert*innen beschäftigen sich schon seit Jahren mit der Biodiversität in Agrarlandschaften des deutschsprachigen Raumes, sei es aus der Perspektive des Monitorings oder der Bewertung und Gestaltung des förder- bzw. ordnungspolitischen Rahmens aus ökologischer oder ökonomischer Perspektive. Die Beteiligung der Expert*innen an den Workshops gewährleistet eine hohe inhaltliche Qualität und soll eine breite Akzeptanz der im Projekt entwickelten Methodik und Produkte sicherstellen.

Um Synergien zu nutzen, greift das Projekt BM-Landwirtschaft auf Indikatoren aus bestehenden und geplanten Monitoring-Programmen zurück (Dauber et al., 2016; Geschke et al., 2019). Über die gesamte Projektlaufzeit erfolgte zudem eine enge Abstimmung mit dem Verbundvorhaben „Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften“ (MonViA, <https://agrarmonitoring-monvia.de>), welches im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft durchgeführt wird. Während in dem vorliegenden Projekt die konzeptionellen Grundlagen für ein Biodiversitätsmonitoring in der Landwirtschaft erarbeitet wurden, strebt MonViA eine langfristige Umsetzung des Monitorings an. In der MonViA Pilotphase (2019–2023) wurden standardisierte Erfassungsmethoden und innovative Indikatoren zur Politikberatung entwickelt (MonViA Verbundprojekt, 2024).

Damit liefert das Projekt BM-Landwirtschaft eine wesentliche Grundlage, um ein umfassendes bundesweites Biodiversitätsmonitoring aufzubauen. So können die Zweckmäßigkeit agrarumweltpolitischer Entscheidungen und Auswirkungen veränderter Landbewirtschaftung auf die Biodiversität wissenschaftlich fundiert bewertet werden. Aus den langfristig erfassten Trends lassen sich Empfehlungen für die Weiterentwicklung agrar- und umweltpolitischer Maßnahmen und der zukünftigen Ausgestaltung der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU ableiten. Damit unterstützen die Ergebnisse des Projekts eine erfolgreiche Umgestaltung von Agrarsystemen und Agrarlandschaften, so dass sie wesentlich dazu beitragen können, die Biodiversität in Landwirtschafts- und Ernährungssystemen zu erhalten und zu fördern.

1.6 Struktur des Abschlussberichts

Der aus vier Teilen bestehende Abschlussbericht stellt die methodischen Ansätze und die Ergebnisse des Projektes vor. Er umfasst die Typisierung der Agrarräume Deutschlands (Teil 1 des Abschlussberichts, vorliegender Bericht), die es zukünftig erlauben soll, agrarraumspezifische Aussagen zum Zustand und zur Entwicklung der biologischen Vielfalt sowie der wesentlichen Einflussgrößen (Treiber) treffen zu können. Auf Grundlage der daraus resultierenden Typologie wurden bestehende Politikziele und -maßnahmen (z. B. definiert in Biodiversitätsstrategien der EU und Deutschlands, EU-Strategie Farm-to-Fork, Ackerbaustrategie 2030, Klimaschutzprogramm) agrarräumlich differenziert betrachtet und daraus Schlussfolgerungen für die Politikgestaltung gezogen (Teil 2 des Abschlussberichts; Holz et al., 2026). Weiterhin wurde die Typologie der Agrarräume genutzt, um agrarraumspezifische Zielbilder zu entwickeln, die handlungsleitend wirksam sein sollen (Teil 3 des Abschlussberichts; Sietz et al., 2026). Diese Zielbilder helfen, Agrarumweltmaßnahmen effektiv umzusetzen und das Monitoring auf relevante Ursache–Wirkungsbeziehungen abzustimmen. Um prüfen zu können,

inwiefern die angestrebten agrarraumspezifischen Zielbilder erreicht werden, wurden agrarraumspezifische Sets von Indikatoren für das Monitoring abgeleitet (Teil 4 des Abschlussberichts; Pingel et al., 2026). Dabei wurden bestehende und in Planung befindliche Monitoring-Programme und daraus abgeleitete Indikatoren berücksichtigt.

2 Methodik der Typisierung der Agrarräume Deutschlands

2.1 Ziele und Vorgehensweise

Auf der nationalen Ebene existieren eine Vielzahl an räumlichen Abgrenzungen und Flächenkulissen, deren Zuschnitt durch die jeweilige Fragestellung bedingt ist. Hier sind u. a. die naturräumliche Gliederung (Meynen & Schmithüsen, 1962), die standortökologische Raumgliederung (Schröder & Schmidt, 2000) und die Boden-Klima-Räume (Roßberg et al., 2007) zu nennen. Diese Gliederungsansätze beruhen auf abiotischen Daten, wie Klima, Bodentyp und -qualität, beziehen aber Parameter der aktuellen menschlichen Nutzung nicht mit ein. Die Art und Intensität der Landnutzung ebenso wie die Landschaftsstruktur haben aber einen wesentlichen Einfluss auf die Biodiversität (Kleijn et al., 2009; Martin et al., 2020; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina et al., 2020). Daher ist davon auszugehen, dass große Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Regionen sowohl in den Artenzahlen (z. B. Pflanzenreichtum in intensiven Ackerbau Landschaften im Vergleich zu heterogenen, extensiv genutzten Grünlandregionen) als auch hinsichtlich der Einflussfaktoren und Trends zu erwarten sind. Zudem hängt die Wirksamkeit von agrarumweltpolitischen Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität wesentlich von der Landschaftsstruktur ab (Batáry et al. 2011; Tscharncke et al. 2012).

Die Typisierung der Agrarräume hat das Ziel, Räume abzugrenzen die sich innerhalb des jeweiligen Typs hinsichtlich ihrer Eigenschaften ähneln und sich gleichzeitig von anderen Typen hinreichend unterscheiden. Diese Regionalisierung soll dann als Grundlage für die regionalspezifische Entwicklung von Zielbildern, Indikatoren und Maßnahmen-Empfehlungen zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität in Agrarlandschaften dienen. Handlungsleitend für die Entwicklung der Typisierung waren die folgenden Anforderungen:

- Die verwendeten Variablen spiegeln die Vielfalt der Agrarlandschaften und ihre Bedeutung für Biodiversität wider.
- Die Typisierung ist statistisch abgesichert, reproduzierbar und aktualisierbar.
- Die Typisierung widerspricht nicht der „Erfahrungswelt“ von Fachleuten aus Wissenschaft, Praxis und Politik.

Die Grundlage für die Typisierung der Agrarräume bilden 18 Eingangsvariablen aus den Bereichen Landbedeckung, Landschaftsstruktur, Nutzungsintensität sowie Klima und Relief als abiotische Komponenten. Die Auswahl der Variablen wurde mit Expert*innen im Rahmen eines Workshops abgestimmt. Dabei wurden sowohl die Eignung der Variablen als auch deren Relevanz für die Beschreibung der Agrarlandschaften in Deutschland diskutiert.

Die Eingangsvariablen wurden auf ein bundesweites Hexagon-Raster mit einer Zellgröße von 1 km² projiziert und einer Cluster-Analyse unterzogen. Für die finale Cluster-Anzahl wurden die Analysen zur Reproduzierbarkeit sowie inhaltlichen Kriterien zugrunde gelegt.

Mittels einer Verschneidung der Agrarraumtypen als Ergebnis der Cluster-Analyse mit den bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen wurde die Verteilung der Stichprobenflächen über die Agrarraumtypen analysiert. Ferner wird ein Ansatz vorgestellt, um die auf Basis eines Hexagon-Rasters aufgelöste Agrarraumtypisierung auf Ebene von Gemeinden zu aggregieren.

2.2 Untersuchungsgebiet und räumliche Auflösung

Das Untersuchungsgebiet umfasst die Bundesrepublik Deutschland. Auf Basis der Landmasse Deutschlands wurde ein Hexagon-Raster mit einer Zellgröße von 1 km² (100 ha) und der Projektion *ETRS89 / UTM zone 32N* (EPSG: 25832) entwickelt (Perić et al., 2022, zur Illustrierung siehe Abbildung 1). Rasterzellen, die von Ländergrenzen geschnitten werden, wurden unzerschnitten in die Untersuchungsfläche aufgenommen, dadurch ergibt sich eine Untersuchungsfläche von 361.594 km² bzw. 361.594 Zellen. Alle vorliegenden räumlichen Daten wurden auf das Hexagon-Raster bezogen.

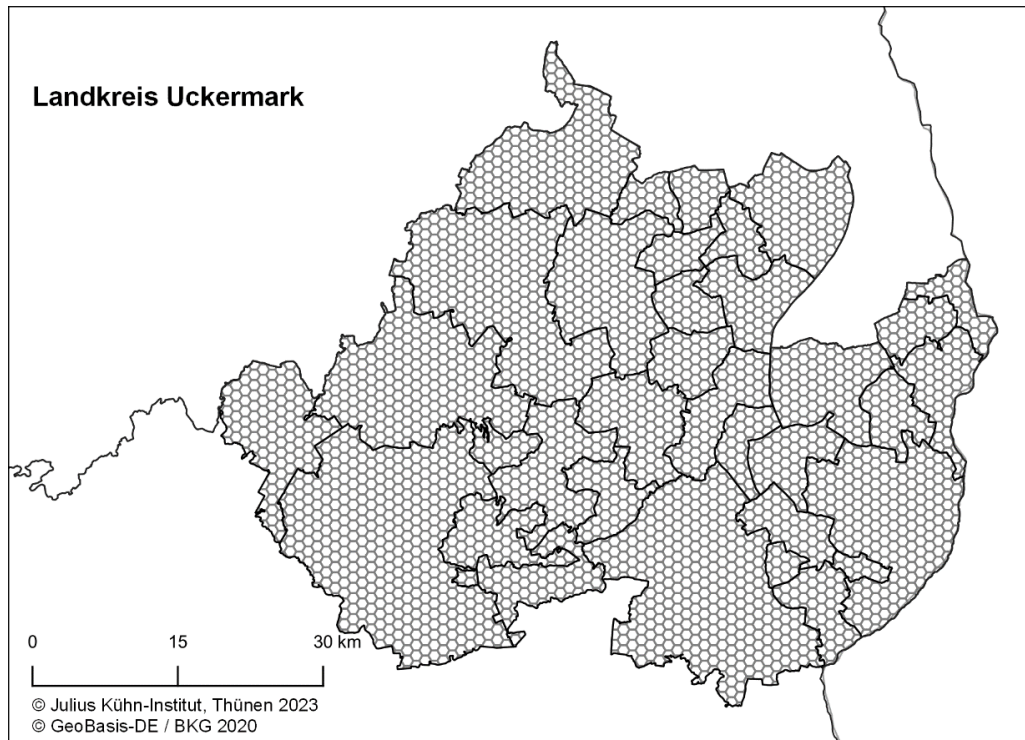


Abbildung 1: Ausschnitt des 100-ha-Hexagon-Rasters (grau) beispielhaft für den Landkreis Uckermark im Nordwesten des Bundeslandes Brandenburg mit Gemeindegrenzen (schwarze Linien).

2.3 Auswahl der Eingangsvariablen, Datengrundlagen und -verarbeitung

Landbedeckung, Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität sind die wichtigsten Dimensionen, entlang deren sich die Ausprägung der landwirtschaftlichen Intensivierung regional differenziert beschreiben lässt (Firbank et al., 2008). Auf der Landschaftsebene wirken diese Dimensionen zusammen, interagieren miteinander und beeinflussen sich gegenseitig in ihren Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Meier et al., 2022). Innerhalb größerer geographischer Bezugsräume (regional bis landesübergreifend) variieren diese Dimensionen in Abhängigkeit von regionalen Bedingungen der landwirtschaftlichen Nutzung. Diese Bedingungen sind das Produkt des Zusammenspiels biophysikalischer, sozioökonomischer und historischer Faktoren (Iizumi & Ramankutty, 2015; Batáry et al., 2017; Levers et al., 2018). Klima und Relief als biophysikalische Treiber können die landwirtschaftliche Produktion begünstigen oder ihr Grenzen setzen. Ferner bestimmen sie die potentielle Verbreitung von Arten. Eine Typisierung der Agrarräume, die die Vielfalt der Agrarlandschaften und ihre Bedeutung für die Biodiversität abbildet, sollte deshalb Variablen berücksichtigen, welche die Dimensionen Landbedeckung, Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität sowie Klima und Relief wiedergeben.

Im Folgenden sind die für die Typisierung berücksichtigten Eingangsvariablen, ihre Relevanz für die Biodiversität in Agrarlandschaften, die Datengrundlagen und die Verarbeitung der Daten beschrieben. Die Übersicht über die verwendeten Eingangsvariablen sowie die Datengrundlagen zeigt Tabelle 1; eine statistische Zusammenfassung befindet sich in Anhang A: Tabelle A1.

Tabelle 1: Übersicht über die für die Cluster-Analyse verwendeten Eingangsvariablen.

Domäne	Variablen	Einheit	Bezugszeitraum	Datengrundlage
Landbedeckung	Ackerland	Flächenanteil der Rasterzelle (%)	2016	ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Sonderkulturen	Flächenanteil der Rasterzelle (%)	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Grünland	Flächenanteil der Rasterzelle (%)	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Wald	Flächenanteil der Rasterzelle (%)	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Siedlungen	Flächenanteil der Rasterzelle (%)	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Halb-natürliche Habitate	Flächenanteil der Rasterzelle (%)	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
Landschaftsstruktur	Shannon Index der Landbedeckung	-	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Grenzliniendichte	m/ha	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
	Mittlere Feldblockfläche	ha	2016	ATKIS Basis-DLM ATKIS Basis-DLM (BKG, 2017)
Nutzungintensität	Variable Kosten einjährige Marktfrüchte	Euro/ha	2014–2018	Röder et al., 2022, S. 185-202
	Variable Kosten für Sonderkulturen	Euro/ha	2014–2018	Röder et al., 2022, S. 185-202
	Variable Kosten für Schweine- und Geflügelhaltung	Euro/ha	2014–2018	Röder et al., 2022, S. 185-202
	Variable Kosten für Milchvieh- und Mastbullenhaltung	Euro/ha	2014–2018	Röder et al., 2022, S. 185-202
	Variable Kosten für extensive Weidewirtschaft	Euro/ha	2014–2018	Röder et al., 2022, S. 185-202
Klima	Jahresmitteltemperatur	° C	2000–2019	DWD, Climate Data Center (DWD, 2022)
	Temperatur-Saisonalität	° C	2000–2019	DWD, Climate Data Center (DWD, 2022)

Domäne	Variablen	Einheit	Bezugszeitraum	Datengrundlage
	Potentielle Verdunstung im März	mm	2000–2019	DWD, Climate Data Center (DWD, 2022)
Geomorphologie	Reliefheterogenität	-		DGM200 (BKG, 2019)

2.3.1 Landbedeckung

Biodiversität und Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften werden durch Änderungen der Landbedeckung stark beeinflusst. So führt der Verlust von halb-natürlichen Habitaten (Martin et al., 2019; Raderschall et al., 2021), die Umwandlung von Grünland zu Ackerland (Busch et al., 2020) oder die Aufgabe der Grünlandnutzung (Bohner et al., 2019) zu einem Rückgang von Arten und dem Verlust von Ökosystemleistungen. Die Landbedeckung und Landnutzungsänderungen sind damit ein wesentlicher Faktor zur Erklärung von Trends der Biodiversitätsentwicklung.

Grundlage für die Eingangsvariablen zur Landbedeckung ist das ATKIS Basis-DLM für Deutschland, Version 2017 (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2017). Die ATKIS-Daten wurden geoinformatisch verarbeitet, so dass ein überlappungsfreie Polygon-Datensatz für die Berechnung von Landbedeckungsklassen und daraus abgeleiteten Metriken entsteht. Für die vorliegende Arbeit wurden die in Tabelle 2 gelisteten Objektarten zu sechs Landbedeckungsklassen zusammengefasst. In die Cluster-Analyse gingen die Flächenanteile der Landbedeckungsklassen für jede Raster-Zelle ein.

Tabelle 2: Landbedeckungsvariablen mit zugehörigen ATKIS Objektarten (Bezeichnungen nach ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM (AdV, 2008)). Der fünfstellige Code der Objektarten und, soweit notwendig, der vierstellige Code bestimmter Attribute sind in Klammern angegeben (VEG = Vegetation, BWS = Bewuchs).

Landbedeckungsklasse	Objektarten und Attribute nach Objektartenkatalog ATKIS Basis-DLM
Ackerland	Ackerland (43001 VEG 1010)
Dauerkulturen und Gartenbau	Rebfläche (43001 VEG 1040) Obst- und Nussplantage (43001 VEG 1050), Streuobstwiese (43001 VEG 1021) Streuobst auf Grünland ((54001 BWS 1900 auf 43001 VEG 1020) Gartenbauland (43001 VEG 1030) Hopfen (43001 VEG 1012) Baumschule (43001 VEG 1031)
Grünland	Grünland (43001 VEG 1020)
Wald	Wald (43002)
Siedlung	Wohnbaufläche (41001) Industrie- und Gewerbefläche (41002) Halde (41003) Fläche gemischter Nutzung (41006) Fläche besonderer funktionaler Prägung (41007)

Landbedeckungsklasse	Objektarten und Attribute nach Objektartenkatalog ATKIS Basis-DLM
	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche (41008)
	Friedhof (41009)
	Straßenverkehr (42001)
	Platz (42009)
	Bahnverkehr (42010)
	Flugverkehr (42015)
	Bauwerk oder Anlage für Industrie und Gewerbe (51002)
	Hafen (52002)
	Schleuse (52003)
Halb-natürliche Habitate	Heide (43004)
	Moor (43005)
	Sumpf (43006)
	Schilf, Röhricht (54001 BWS 1400)
	Gehölz (43003)
	Baumbestand, Gehölz oder Gebüsch auf Landwirtschaftliche Fläche (54001 BWS 1021, 1022, 1023, 1250, 1260 auf 43001)
	Unland (43007)
	weitere, nicht-definierte Vegetationsmerkmale auf Landwirtschaftliche Fläche (54001 auf 43001)

2.3.2 Landschaftsstruktur

Die Landschaftsstruktur wurde durch drei Variablen abgebildet: Shannon Index der Landbedeckungsklassen (im Folgenden: Shannon Index), die Grenzliniendichte und die Feldblockfläche.

Der Shannon Index (Walz, 2004) ist ein Maß für die Vielfalt von Landbedeckungsklassen in einem Bezugsraum und berücksichtigt dabei die Anzahl und die relativen Flächenanteile der einzelnen Landbedeckungsklassen (viele Landnutzungstypen mit ähnlichem Flächenanteil = hoher Shannon Index). Der Shannon Index ist ein Maß für die kompositionelle Vielfalt von Agrarlandschaften. Regionen, die durch einen hohen Anteil an Ackerland und einer relativ geringen kompositionellen Landschaftsvielfalt geprägt sind, weisen eine geringere Diversität z. B. hinsichtlich vieler Insektenarten auf (Ekroos et al., 2010).

Zur Berechnung wurden folgende flächenhafte ATKIS-Objektarten einbezogen: Ackerland, Grünland, Heide, Moor, Streuobstwiese, Wald, Gehölz, Siedlungen, Gartenland, Weingarten, Obstplantage, Hopfengarten und Baumschulen. Die Berechnung erfolgte nach der Formel:

$$SI = - \sum_{i=1}^n (p_i * \ln p_i)$$

mit SI = Shannon Index, p = relativer Flächenanteil der Objektart, n = Anzahl der Objektarten.

Die durchschnittliche Größe der landwirtschaftlichen Flächen sowie die Dichte von Säumen landwirtschaftlicher Flächen sind ein Maß für die Konfiguration einer Landschaft. Sie beeinflusst Vielfalt und

Abundanz vieler Artengruppen einschließlich Pflanzen, Arthropoden und Wirbeltiere (Fahrig et al., 2015; Martin et al., 2019). Die mittlere Feldblockfläche wurde auf Grundlage des ATKIS Basis-DLM berechnet. Dazu wurden die Objekte mit landwirtschaftlicher Nutzung (Ackerland, Grünland, Sonderkulturen) mit dem Hexagon-Raster verschnitten. Aus allen Flächengrößen der Objekte, die ein Hexagon schneiden, wurde der Mittelwert berechnet und dem entsprechenden Hexagon zugeordnet. Hexagone, die keine Objekte mit landwirtschaftlicher Nutzung schneiden, gingen nicht in die Analyse ein.

Die ATKIS-Polygone entsprechen am ehesten einem Feldblock, weniger einem Flurstück oder Schlag. Daher unterliegen sie nicht immer einer einheitlichen Bewirtschaftung. Ebenso ist es möglich, dass aneinandergrenzende Polygone gleich bewirtschaftet werden. In Ermangelung genauerer, bundesweit verfügbarer Daten, stellt der ATKIS Datensatz eine akzeptable Näherung an die relativen regionalen Verhältnisse der Größen landwirtschaftlicher Nutzflächen dar.

Bedingt durch das Vorherrschen nur einer Landnutzungsart (Grünland) sind die mittleren Flächengrößen der ATKIS-Polygone am nördlichen Alpenrand (BY) und im küstennahen Grünland (SH) sehr groß. Um den Fokus der Analyse auf die Mehrheit der Hexagone zu legen, wurden hier Extremwerte ausgeschlossen. Dafür wurde das 1 % der Hexagone (entspricht 3385 Hexagone) mit den höchsten Werten wurde der Wert des jeweiligen 99. Perzentile festgelegt (148,48 ha).

Zur Berechnung der Grenzliniendichte wurden die Längen expliziter, linearer ATKIS Objekte (Hecken, Baumreihen) und impliziter Grenzlinien, die sich aus der gemeinsamen Berührungslinie zweier Polygone ergeben, herangezogen. Es wurde die Dichte der Grenzlinien pro Hexagon mit der Einheit „m/ha“ berechnet. Dabei wurden nur die Grenzlinien berücksichtigt, die auf mindestens einer Seite an einer Agrarfläche (Ackerland, Sonderkulturen, Grünland, Gartenland) angrenzen.

2.3.3 Nutzungsintensität

Die Nutzungsintensität bezieht sich auf die Intensität der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Dullinger et al. (2021) beschreiben die Nutzungsintensität als multidimensionales Phänomen, das durch die Summe von Inputs pro Flächeneinheit, die Outputs (z. B. Erträge, oder monetärer Umsatz) pro Flächeneinheit oder als Veränderung von Ökosystemeigenschaften beschrieben kann. Wir interpretieren die Nutzungsintensität als Summe aller Inputs, da diese direkte oder indirekte Einflussfaktoren auf die Biodiversität darstellen. So haben Pestizide oder Düngemittel direkte negative Auswirkungen auf die Organismen auf landwirtschaftlichen Flächen (Kleijn et al., 2009; Geiger et al., 2010). Indirekte Auswirkungen sind unter anderem mit Importen von Futtermitteln assoziiert. Hohe Futtermittelimporte, die für die einheimische Viehhaltung genutzt werden, führen über die Ausscheidungen der Tiere zu hohen Stickstoffüberschüssen. Hohe Stickstoffeinträge haben schwerwiegende Folgen für die biologische Vielfalt von landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Lebensräumen (Bobink et al., 2010; de Vries et al., 2021).

Als integrierende Variable für die landwirtschaftlichen Inputs wurden die variablen Kosten für die Produktion landwirtschaftlicher Güter herangezogen (Teillard et al., 2012; Erb et al., 2016). Sie sind ein integrierender Indikator, der für ganz Deutschland über alle Produktionssysteme hinweg abgeleitet werden kann. Aus agrarökonomischer Sicht sind die variablen Kosten auch ein Maß für das regionale Wertschöpfungspotential, weil Ressourcen insbesondere dort verstärkt eingesetzt werden, wo auch eine hohe Wertschöpfung zu erwarten ist. Die Höhe der Wertschöpfung in der Landwirtschaft ist dabei sowohl abhängig von Umweltvariablen als auch von sozioökonomischen Faktoren, wie dem Zugang zu Absatzmärkten, Transportwegen, regionaler Förderung sowie der historischen Entwicklung.

Zu den variablen Kosten zählen z. B. Kosten für Düngung, Pflanzenschutz oder der monetär bewertete Arbeitsaufwand für die Betreuung von Nutztieren. Nicht berücksichtigt sind hier die Fixkosten

für Maschinen und Gebäude. Die variablen Kosten wurden auf Grundlage von vorliegenden Ertragsdaten auf Kreisebene berechnet. Basierend auf Kalkulationsdaten (BLfL, 2020; KTBL, 2020) lassen sich die variablen Kosten so regional abschätzen. Die für Landkreise veröffentlichten Daten wurden auf Gemeinde-Ebene modelliert (Gocht & Röder, 2014) unter Berücksichtigung der Anbaufläche pro Gemeinde (Neuenfeldt et al., 2020). Hohe variable Kosten pro Hektar Nutzfläche sind damit eng korreliert mit hohen lokalen Erträgen. Die variablen Kosten basieren auf dem Fünf-Jahres-Mittelwert 2014-2018 und der Landnutzung 2016.

Die variablen Kosten unterscheiden sich stark zwischen den Produktionssystemen. So ist zum Beispiel der Aufwand, aber auch der realisierte Gewinn je ha, bei der Produktion von Sonderkulturen, wie Obst und Gemüse, höher als bei der Produktion von einjährigen Ackerkulturen. Um eine Verzerrung zu Gunsten der sehr kostenintensiven Produktionstypen zu vermeiden, ist deshalb eine Unterteilung sinnvoll. Diese erlaubt zudem auch eine differenzierte Aussage über regionale Produktionsschwerpunkte. Für den hier beschriebenen Ansatz wurden die folgenden fünf Produktionssysteme berücksichtigt:

Einjährige Marktfrüchte: Getreide, Hülsenfrüchte, Kartoffeln, Zuckerrüben, Handelsgewächse, Feldgemüse, Futterpflanzen.

Dauer- und Sonderkulturen: Obst, Wein, Kurzumtriebsplantagen, Weihnachtsbäume, Hopfen, Gartenbaukulturen.

Schweine- und Geflügelhaltung: Schweine, Geflügel inkl. Eierproduktion.

Intensive Milchvieh- und Mastbullenhaltung: Milchvieh, Mastbullen, sowie Silomais mit Verwendungszweck Biogas.

Extensive Weidehaltung: Mutterkühe, Schafe, Ziegen, Pferde.

Einige Gemeinden weisen abhängig vom Produktionssystem sehr hohe variable Kosten auf. Diese kommen zustande, wenn sehr hohe Kosten auf eine sehr kleine Anbaufläche umgelegt werden. Um den Einfluss dieser Extremwerte („Ausreißer“) zu limitieren, wurde für das 1 % der Hexagone mit den höchsten Werten für variable Kosten der Wert des jeweiligen 99. Perzentile festgelegt. Dieser Schritt wurde für die Produktionssysteme Dauer- und Sonderkulturen, Schweine- und Geflügelhaltung, intensive Milchviehhaltung, extensive Weidehaltung separat angewandt. Für den Marktfruchtbau war diese Anpassung nicht notwendig.

Für wenige Gemeinden sind keine ausreichenden agronomischen Daten verfügbar, insbesondere, weil keine oder wenig landwirtschaftlichen Nutzflächen bzw. landwirtschaftliche Betriebe vorhanden sind. Diese Rasterzellen gingen nicht in die Analyse ein.

2.3.4 Klima

Das Klima ist ein wesentlicher Standortfaktor für die landwirtschaftliche Produktion. Es bestimmt welche Kulturen wo angebaut werden können und mit welcher Intensität gewirtschaftet werden kann (Iizumi & Ramankutty, 2015; Meier et al., 2022).

Die Klimadaten, die für dieses Projekt herangezogen wurden, basieren auf bundesweiten Rasterdatensätzen (1 x 1 km) des DWD (DWD, 2022). Mithilfe der Software R (R Core Team, 2021) und den Paketen „rdwd“, „raster“ und „rgdal“ wurden die Datensätze vom FTP-Server des DWD für die Jahre 2000 – 2019 in monatlicher Auflösung heruntergeladen, auf Basis der Monate über die Periode von 20 Jahren gemittelt und schließlich auf das Hexagon-Raster projiziert.

Der Auswahl geeigneter Klimavariablen ging eine umfassende explorative Analyse der als Raster verfügbaren Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) voraus. Dabei wurden z. B. neben Temperatur

und Evapotranspiration auch Niederschlagssummen, modellierte Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm, saisonale Temperatur-Amplitude sowie der Trockenheitsindex herangezogen. Wo möglich, wurden monatliche, jahreszeitliche und jährliche Kennwerte betrachtet. Ziel der explorativen Analyse war, die Vielzahl möglicher Klimavariablen auf aussagekräftige, nicht kollineare Variablen zu reduzieren. Dazu wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit allen Klimavariablen durchgeführt und die Korrelationen (Ladungen) der ersten drei Hauptkomponenten mit den Klimavariablen untersucht (siehe Anhang B: Selektion der Klimavariablen).

Für die vorliegende Gliederung wurde die Jahresmitteltemperatur, die Temperatur-Saisonalität (Temperaturdifferenz der Monatsmittel Juli und Januar), sowie die potentielle Evapotranspiration im März herangezogen, da diese die Hauptgradienten in drei Hauptkomponenten-Analyse am besten abbilden und zugleich relativ gut interpretierbar sind.

2.3.5 Geomorphologie

Die Geomorphologie, insbesondere das Relief, prägt die Landnutzung, da steilere Lagen mit mehr Aufwand bewirtschaftet werden müssen und die Mechanisierung erschwert oder unmöglich wird. Die Heterogenität des Reliefs der Erdoberfläche lässt sich über die Oberflächen-Rauigkeit beschreiben, die durch den *Terrain Ruggedness Index* ausgedrückt werden kann (Riley et al., 1999). Dieser Index berechnet sich aus den mittleren Unterschieden der Höhe der Ziel-Rasterzelle mit den benachbarten Rasterzellen. Der TRI wurde aus dem Digitalen Geländemodell 200 (BKG, 2019) für ein Raster von 200 x 200 m Zellgröße berechnet, und anschließend auf das 100 ha Hexagon-Raster reprojiziert.

Die orographische Höhe ist eine häufig genutzte Variable für räumliche Abgrenzung auf nationaler und kontinentaler Ebene (Chuman & Romportl, 2010; Metzger et al., 2013). Hier wurde aber auf die Höhe als Eingangsvariable verzichtet, weil für Deutschland die Höhe eng mit den klimatischen Variablen korreliert. Letztere haben eine größere unmittelbare Bedeutung für Landwirtschaft und Biodiversität.

2.4 Umgang mit räumlichen Datenlücken und Maskierung von Gebieten mit geringem Offenlandanteil

Durch das Fehlen von landwirtschaftlichen Flächen- oder Agrarerhebungsdaten ergeben sich Lücken im Datensatz, d. h. für einige Hexagone sind die Eingangsvariablen nicht vollständig. Diese wurden in der nachfolgenden Analyse nicht berücksichtigt.

Weitere Hexagone weisen nur einen sehr kleinen Anteil an Offenlandflächen auf (< 5 %) oder das Hexagon liegt nur zu einem kleinen Anteil innerhalb der Grenzen der Landesfläche Deutschlands (< 20 %). Damit diese Hexagone, die nachfolgende Cluster-Analyse nicht beeinflussen, wurden auch diese nicht berücksichtigt, sondern maskiert. Zum Offenland zählen folgende ATKIS-Objektarten: Ackerland, Grünland, Weingarten, Obstplantagen, Hopfengarten, Baumschule, Gartenland, Moor, Heide, Streuobstwiesen, Gehölz. Tabelle 3 zeigt, wie viele Hexagone nach welchen Kriterien maskiert wurden.

Tabelle 3: Übersicht der Maskierungsschritte.

Maskierungskriterium	Anzahl der Hexagone (Anteil and Gesamtanzahl)
Gesamtdatensatz vor Maskierung	361594 (100 %)
Hexagone mit fehlenden Daten	25504 (7 %)
Hexagone mit <i>Offenlandanteil</i> von weniger als 5 %	39631 /11 %)
Maskierung von Hexagonen mit weniger als 20 % Deckung mit Landesfläche	1116 (> 1%)
Datensatz nach Maskierungsschritten	315318 (87 %)

Zur einfachen Interpretation der Karten wurden die maskierten Hexagone folgendermaßen klassifiziert (Abbildung 2): Hexagone mit einem Anteil von Siedlungen über 50 % wurden als „städtische Gebiete“ klassifiziert, Hexagone mit einem Anteil von „Wald“ über 75 % wurden als Wald klassifiziert, alle anderen Hexagone wurden als „Gemischt/Andere“ klassifiziert).

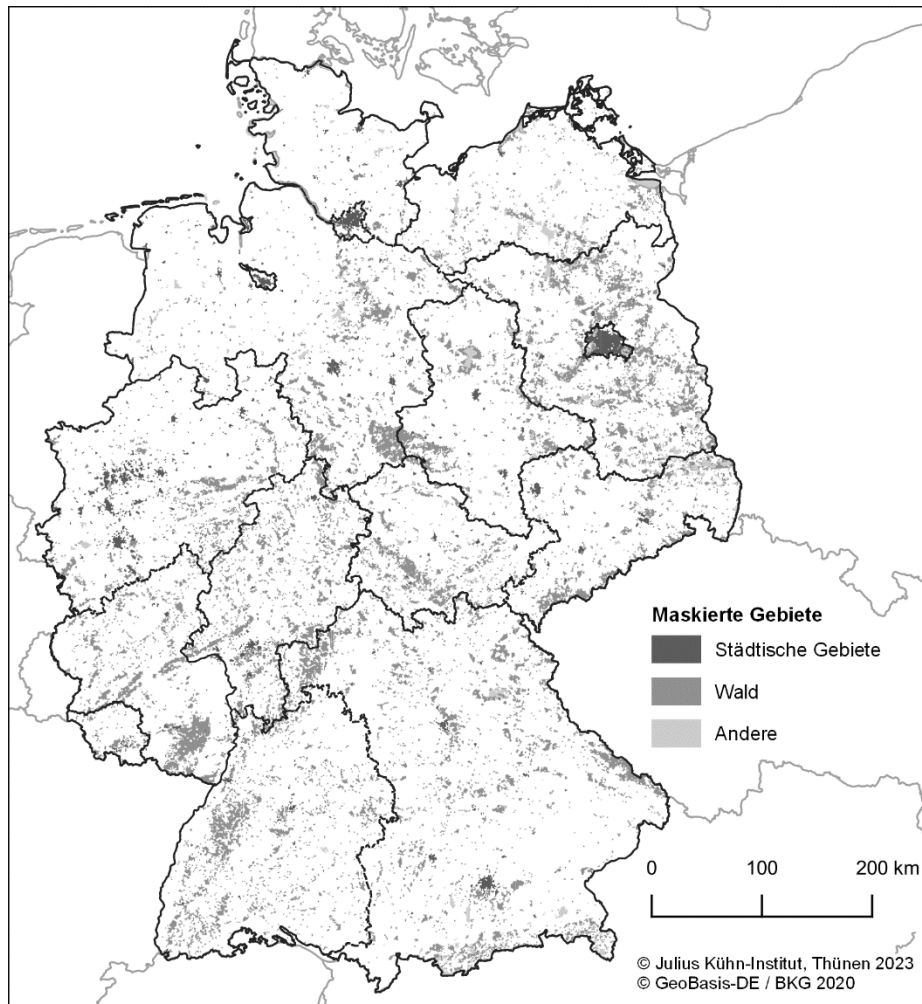


Abbildung 2: Karte Deutschlands mit räumlicher Verteilung der maskierten Hexagone. Diese sind nicht in die Analyse zur Typisierung der Agrarräume eingegangen. Projektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 25832).

2.5 Cluster-Analyse

Der finale, lückenlose Datensatz umfasst 315 318 Rasterzellen und die berechneten Variablen zu Klima, Geomorphologie, Landbedeckung, Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität (Tabelle 1, Anhang A: Tabelle A1: Beschreibende Statistik der Eingangsvariablen, die für die Clusteranalyse verwendet wurden. Angegeben sind: Wertebereich (Minimum - Maximum), Mittelwert, Standardabweichung (Std), 25., 50., 75., 95. und 99. Perzentile.). Für die Analyse wurden die Variablen z-transformiert (Mittelwert = 0, Standardabweichung = 1).

Die Analyse erfolgte mithilfe von *K-Medians*, ein partitionierenden Clustering-Algorithmus, unter Nutzung des R-Paketes *flexclust* (Leisch, 2006). Das K-Medians Verfahren basiert auf dem *K-Means* Algorithmus, verwendet jedoch die Manhattan-Distanzen zwischen Objekten statt euklidischen Distanzen. Im Gegensatz zu K-Means optimiert K-Medians den Median der Cluster (multivariate Medianwerte) statt des arithmetischen Mittels (Centroide). Für die vorliegenden Daten hat sich die Anwendung des K-Medians-Verfahrens als robuster gegenüber Ausreißern erwiesen als K-Means.

Auf der Grundlage von Stabilitätsüberlegungen (Ben-Hur et al., 2002; Sietz et al., 2017) wurde die optimale Anzahl von Clustern (k) mithilfe der in *flexclust* implementierten Funktion "stepFlexclust". Dazu wurden für $k = 2 - 20$ jeweils 100 Clusterläufe durchgeführt und die „beste“ Partitionierung unter allen Wiederholungen basierend auf der minimalen Varianz innerhalb des Clusters beibehalten. Die beste Partitionierung für jedes k wurde mit 500 unabhängig voneinander abgeleiteten Partitionierungen paarweise unter Verwendung der 'kcca'-Funktion und des angepassten Rand-Index (aRI) (Hubert und Arabie, 1985) verglichen. Der aRI diente als Maß für die Stabilität von Clustern. Der mittlere aRI aller paarweisen Vergleiche für jedes vordefinierte k wurde als Grundlage für die Bestimmung der optimalen Clusterzahl verwendet.

Der aRI liegt nahe 1 für 2–3 Cluster (siehe Abbildung 3); Ein lokales Plateau liegt bei $k = 6$ bis $k = 12$; ein weiteres tieferes Plateau liegt bei $k = 13$ bis $k = 18$. Bei höherer Cluster-Anzahl fällt der Rand-Index monoton. Für die Entscheidung, welche Clusteranzahl für die Typisierung der Agrarräume angewendet werden soll, wurde neben dem numerischen Kriterium der Stabilität auch die Einschätzung der Expert*innen des Projektes BM-Landwirtschaft herangezogen. Dazu wurde die Plausibilität der Cluster-Ergebnisse in einem Workshop diskutiert. Diese Diskussionen führten zu der Entscheidung, eine Partitionierung mit $k = 8$ Clustern aus der Reihe ähnlich robuster Partitionierungen als Endergebnis zu betrachten. Durch das Ergebnis $k = 8$ konnte die funktionelle und räumliche Heterogenität der Agrarraumtypen am besten dargestellt werden.

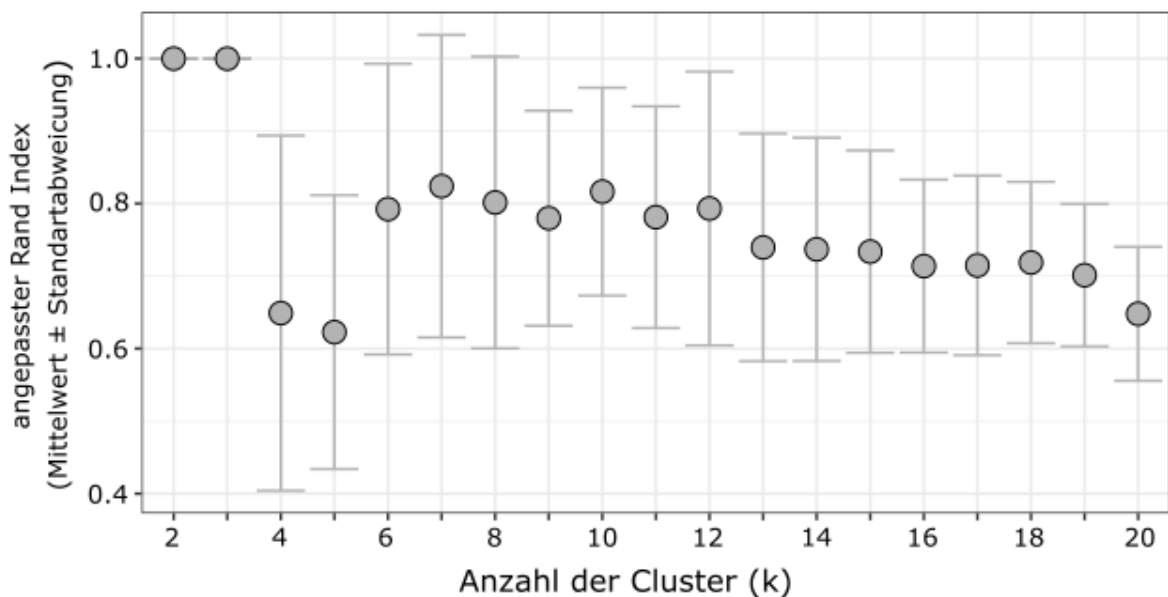


Abbildung 3: Angepasster Rand Index (aRI) als Maß für die Cluster-Stabilität zwischen zwei Analyse-Ergebnissen in Abhängigkeit von der Cluster-Anzahl. Kreise zeigen den Mittelwert von 500 Analysen, vertikale Balken zeigen die jeweilige Standardabweichung.

2.6 Bereitstellung der Daten

Die Typisierung der Agrarräume Deutschlands sowie die prozessierten Eingangsvariablen stehen als Geo-Datensatz auf Basis des Hexagon-Rasters zur Verfügung. Der Geo-Datensatz ist als Datenpublikation im Repositorium der Environmental Data Initiative (EDI) unter der Adresse <https://doi.org/10.6073/pasta/623f9bfa59b7802c5e07705170441a56> bereitgestellt (Pingel et al., 2025).

Eine Webanwendung zur Kartendarstellung der Agrarraumtypen steht über den Mapviewer des Julius Kühn-Instituts (<https://sf.julius-kuehn.de/mapviewer/bm-landwirtschaft>) zur Verfügung.

2.7 Analyse Repräsentanz der bundesweit repräsentativen Stichprobenfläche für die Agrarraumtypen

Die bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen stellt die Stichprobenkulisse für verschiedene etablierte und geplante Monitoring-Vorhaben dar, wie das Monitoring häufiger Brutvögel (Mitschke et al., 2005), das Monitorings der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert (kurz: HNV-Monitoring, Hünig & Benzler, 2017) und das Ökosystem-Monitoring (Ackermann et al., 2020). Die Stichprobe für das HNV-Monitoring besteht aus 915 quadratischen Flächen von 1 x 1 Kilometern. Die Entwicklung der Stichprobenkulisse erfolgte im Rahmen des Vorhabens der ökologischen Flächenstichprobe und wurde auf Basis der ökologischen Raumgliederung und der Landnutzung gezogen (Schröder & Schmidt, 2000; Dröschmeister, 2001).

Durch eine räumliche Verschneidung der Flächen des HNV-Monitorings mit den Agrarraumtypen wurde überprüft, wie die Stichprobenflächen zwischen den Agrarraumtypen verteilt sind. Dabei wurde jeder Stichprobenfläche derjenige Agrarraumtyp zugewiesen, der flächenmäßig den größten Anteil hat (Mehrheits-Prinzip).

2.8 Aggregation auf Gemeinde-Ebene

Um das Ergebnis der Cluster-Analyse auf Ebene der Verwaltungsgebiete von Gemeinden zu aggregieren, wurden die Agrarraumtypen mit einem Vektordatensatz der Gemeinden (BKG, 2020) verschnitten. Dabei wurden die Zellen derjenigen Gemeinde zugeordnet, welche die größte räumliche Überlappung mit der jeweiligen Zelle aufweist (Mehrheits-Prinzip).

Im zweiten Schritt wurde der Flächenanteil der Agrarraumtypen pro Gemeinde berechnet. Es ergaben sich so unterschiedliche Verteilungen der Agrarraumtypen innerhalb der Gemeinde. Um Agrarraumtypen mit sehr kleinen Flächenanteilen herauszufiltern, wurde ein Mindestanteil von 20 % der Fläche als unterer Grenzwert festgelegt. Agrarraumtypen, die unter diese Grenze fallen wurden in ihrer Bedeutung für die Landwirtschaft in der jeweiligen Gemeinde als nachrangig angesehen und aus der Auflistung entfernt. Alle Agrarraumtypen über 20 % wurden berücksichtigt.

3 Typisierung der Agrarräume: Räumliche Darstellung und Charakterisierung

3.1 Regionale Charakterisierung der Agrarraumtypen

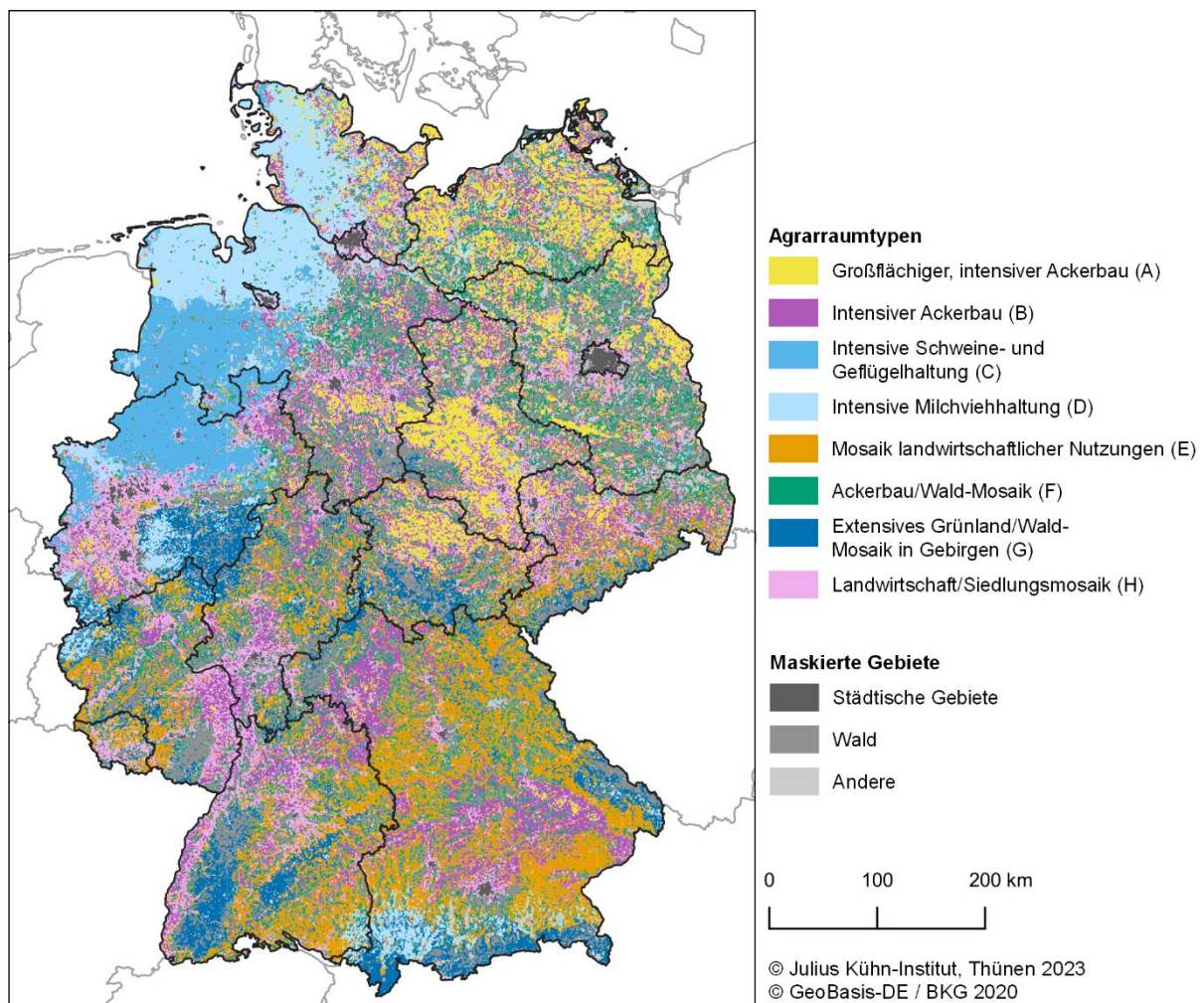


Abbildung 4: Karte Deutschlands mit räumlicher Verteilung der Agrarraumtypen (A-H). Graue Gebiete sind Gebiete mit Offenlandanteil < 5% oder mit fehlenden Werten in den Eingangsvariablen. Projektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 25832). Eine digitale Kartendarstellung steht über den Mapviewer des Julius Kühn-Instituts (<https://sf.julius-kuehn.de/mapviewer/bm-landwirtschaft>) zur Verfügung.

Tabelle 4: Flächengröße der Agrarraumtypen Deutschlands sowie Flächenanteil bezogen auf die Gesamtfläche Deutschlands bzw. die gesamte Ackerfläche/Grünlandfläche.

Typ	Bezeichnung	Fläche (km ²)	Flächenanteil an der Gesamtfläche Deutschlands	Flächenanteil an der Gesamt-Ackerfläche Deutschlands	Flächenanteil an der Gesamt-Grünlandfläche Deutschlands
A	Großflächiger, intensiver Ackerbau	36460	10,1 %	24,5 %	2,9 %
B	Intensiver Ackerbau	60907	16,8 %	31,5 %	13,0 %
C	Intensive Schweine- und Geflügelhaltung	22982	6,4 %	10,7 %	5,2 %
D	Intensive Milchviehhaltung	30095	8,3 %	5,8 %	25,3 %
E	Mosaik landwirtschaftlicher Nutzungen	60376	16,7 %	16,3 %	28,8 %
F	Ackerbau/Wald-Mosaik	42357	11,7 %	4,9 %	5,7 %
G	Extensives Grünland-/Wald-Mosaik in Gebirgen	30195	8,4 %	1,3 %	12,1 %
H	Landwirtschaft-/Siedlungsmosaik	31946	8,8 %	4,7 %	6,1 %

Die acht identifizierten Agrarraumtypen zeigen eine große Heterogenität hinsichtlich Größe, Verteilung und räumlicher Kontingenz (Abbildung 4, Tabelle 4). Einige Typen stellen große, zusammenhängende Räume mit kleineren Exklaven dar, andere wiederum werden durch mehrere, kleine regionale Räume charakterisiert oder zeigen eine zerstreute Verbreitung. In Anhang A sind die Agrarraumtypen zur besseren Übersicht einzeln dargestellt (Anhang A: Abbildung A1). Viele abgegrenzte Gebiete lassen sich bestimmten Naturräumen und traditionellen Kulturlandschaften zuordnen. Nachfolgend wird die räumliche Verbreitung der Agrarraumtypen kurz beschrieben.

3.1.1 Ackerbau-dominierte Agrarraumtypen

Der Agrarraumtyp „Großflächiger, intensiver Ackerbau“ (Typ A) hat regionale Schwerpunkte in Ostdeutschland (Magdeburger Börde, Oderbruch, Uckermark, Vorpommern, Leipziger Bucht, Thüringer-Becken), aber auch in der Kölner Bucht (NW) und in der Donau-Niederung Bayerns. Ansonsten tritt dieser Agrarraumtyp im Mosaik mit dem Typ „Intensiver Ackerbau“ (Typ B) auf, insbesondere im östlichen SH, Nord-ST, BB und MV.

Der „Intensive Ackerbau“ (Typ B) zeigt eine zerstreute Verbreitung, ist aber der größte der acht Agrarraumtypen. Neben dem kombinierten Auftreten mit Typ A, tritt der Typ B häufig im Mosaik mit Typ H „Landwirtschaft-/Siedlungsmosaik“ auf. Weitere Verbreitungsschwerpunkte sind im westlichen NI (um die Lüneburger Heide herum und um Göttingen), in Nordhessen (Kassel), nördlich des Erzgebirges (SN), im Maintal bei Würzburg, in der Donau-Ebene, sowie nördlich von München (BY) und im Rhein-Neckar-Gebiet (BW).

Der Typ C „Intensive Schweine- und Geflügelhaltung“ bildet einen räumlich sehr homogenen Raum im westlichen NI und Nord-NW. Er umfasst das Gebiet zwischen der niederländischen Grenze und

der Weser, auf Höhe Bremen liegt die nördliche Grenze; in NW umfasst das Gebiet die Münsterländer Tieflandsbucht, sowie das Niederrheinische Tiefland exklusive des Ruhr-Gebiets.

3.1.2 Intensive Milchviehhaltung

Der Typ D „Intensive Milchviehhaltung“ hat zwei Verbreitungsschwerpunkte: im Nord-Westen Deutschlands (West-SH und Nord-NI) und im Süden (Allgäu, Alpenvorland, BY). Der Typ tritt außerdem am Niederrhein und im Bergischen Land auf (NW).

3.1.3 Mosaik-Agrarraumtypen

Der Typ E „Mosaik landwirtschaftlicher Nutzungen“ ist in weiten Teilen Bayerns sowie dem Vorland des Erzgebirges (SN), Oberschwaben (BW), Rheinland-Pfalz, und Mittel-Hessen lokalisiert. Hier ist die Verbreitung größtenteils kontingent (zusammenhängend), wird aber durch geographische Besonderheiten (z. B. Donau-Tal, Mittelgebirge, urbane Verdichtungsräume) durchbrochen.

Der Agrarraumtyp F „Ackerbau-/Wald-Mosaik“ hat eine sehr gestreute Verbreitung über ganz Deutschland. Die Schwerpunkte der Verbreitung sind in MV, BB, Lausitz (SN), Lüneburger Heide (NS), HE, RP. Wenig verbreitet ist der Typ in den Mittelgebirgen, im Allgäu sowie im Nordwest-deutschen Tiefland.

Der Typ G „Extensives Grünland-/Wald-Mosaik in Gebirgen“ korreliert räumlich mit den Mittelgebirgen Sauerland (NW), Eifel (NW), Rhön (HE), Thüringer Wald (TH), Schwarzwald (BW), Schwäbische Alp (BW), Bayerischem Wald (BY) und Alpen (BY). Der Typ tritt vereinzelt auch in Franken (BY), Mittelhessen und RP innerhalb der Gebiete des Typs E auf. Wald-dominierte Mittelgebirge wie Harz und Pfälzer Wald fallen nicht in diesen Typ, da diese Regionen maskiert wurden und nicht in die Cluster-Analyse eingegangen sind.

Die Verbreitung des Typs H „Landwirtschaft/Siedlungsmosaik“ ist assoziiert mit Ballungsräumen (z. B. Ruhrgebiet, Rhein-Neckar, Rhein-Main) und Städten. Auffällig ist, dass der Agrarraumtyp auch entlang großer, süddeutscher Flüsse auftritt (z. B. Rhein, Neckar, Main und Donau). Diese sind auf Grund ihrer Geschichte und Siedlungsstruktur oft durch klein- bis mittelstädtisch geprägte Verdichtungsräume geprägt.

3.2 Darstellung der Eigenschaften der Agrarraumtypen in Bezug zu den Eingangsvariablen

Für die Abgrenzung und Charakterisierung der Agrarraumtypen sind die Landbedeckungsvariablen am wichtigsten (Abbildung 5). Die meisten Typen lassen sich mittels der Landbedeckungsklassen Ackerland, Grünland, Wald differenzieren (Abbildung 5A-C). Zum Beispiel zeichnen sich Hexagone des Typ A durch hohe Ackerland-Anteile aber geringe Wald- und Grünland-Anteile aus. Hexagone des Typ D haben im Mittel den höchsten Grünland-Anteil. Im Typ E ist das Flächenverhältnis zwischen den Landbedeckungsklassen Ackerland, Grünland und Wald im Mittel ausbalanciert. Die Typen E und G haben im Mittel etwa gleich hohe Waldanteile, unterscheiden sich aber hinsichtlich ihrer Anteile von Grünland und Ackerland.

Der Flächenanteil von Siedlungen hat eine besondere Bedeutung für die Charakterisierung des Typs H (Abbildung 5D), der hier die höchsten Werte zeigt. Sonderkulturen und halbnatürlichen Habitats sind flächenmäßig von geringer Bedeutung (Abbildung 5E, F). Diese Landbedeckungsklassen wirkten in der Cluster-Analyse wenig differenzierend.

Die Shannon Index der Landbedeckung erlaubt die Differenzierung von eher wenig vielfältigen bis sehr vielfältigen Agrarraumtypen (Abbildung 6A). Die geringste Vielfalt weist der Agrarraumtyp A auf, die höchste Vielfalt dagegen weisen Landschaften der Typen E und H auf. Die Grenzliniendichte der Agrarraumtypen B, C, D und E ist im Mittel ähnlich und liegt über den Werten für die Typen G und H

am größten, am geringsten in den Typen A und F (Abbildung 6B). Bezüglich der mittleren Größe der Feldblockflächen zeigen die Hexagone des Typ A im Mittel den höchsten Wert von ca. 50 ha (Abbildung 6C). Die Mittel der anderen Typen sind deutlich geringer (< 10 ha).

Für die Charakterisierung der Agrarraumtypen sind ferner die dominanten Produktionssysteme in einer Region sowie die Intensität, mit der diese Systeme bewirtschaftet werden, von Bedeutung. Die variablen Kosten als Maß für die Nutzungsintensität liefert Informationen über den monetären Aufwand pro Flächeneinheit landwirtschaftlich genutzter Fläche (Euro/ha). Im Gegensatz zur Landbedeckung geben die Kosten keine Hinweise auf den flächenmäßigen Umfang des jeweiligen Produktionssystems.

Für die variablen Kosten des Marktfruchtbaus lässt sich eine absteigende Reihenfolge der Mittelwerte und Interquartilweiten erkennen: Typ $A > B > C > H > F > E$ (Abb. 7A), die Werte dieser Typen liegen aber nah beieinander. Dagegen weisen die Typen D und G sehr geringe Intensitäten bezüglich des Marktfruchtbaus auf.

Die variablen Kosten der Produktionsrichtung Dauer- und Sonderkulturen ist über alle Agrarraumtypen hinweg homogen, mit Ausnahme des Typs H „Landwirtschaft-/Siedlungsmosaik“, wo die variablen Kosten etwas für diese Produktionsrichtung etwas höher sind (Abbildung 7B). Die Produktionsrichtung Schweine- und Geflügelhaltung ist kennzeichnend für den Agrarraumtyp C (Abbildung 7C). Die Hexagone des Typ D sind assoziiert mit den im Mittel höchsten Kosten für intensive Rinderhaltung (Abbildung 7D). Auf mittlerem Niveau der flächenbezogenen Kosten für intensive Rindhaltung sind die Typen C, E und G; am geringsten sind sie für Hexagone der Typen A, B, F und H. Die extensive Haltung von Mutterkühen, Schafen, Ziegen und Pferden ist bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche im Typ G am höchsten (Abbildung 7E).

Das Klima in Deutschland wird im Wesentlichen durch die atlantisch-kontinentalen Verhältnisse sowie die Höhe bestimmt. Der Einfluss der Klimavariablen auf die Abgrenzung der Agrarraumtypen spiegelt diese übergeordneten Faktoren wider. Die potentielle Evapotranspiration im März ist am höchsten in den Typen A, B und H (Abbildung 8C). Diese entsprechen z. B. dem eher kontinentalen und sommertrockenen Regionen Ostdeutschlands sowie dem Oberrhein und dem Rhein-Main-Gebiet. Die atlantische Prägung des Nordwestens wird durch die geringe Saisonalität sowie eine geringe Evapotranspiration in den Typen C und D deutlich (Abbildung 8B, 8C). Regionen des Typ G wie die Mittelgebirge und das Alpenvorland weisen im Mittel die geringsten Jahresdurchschnittstemperaturen auf. Hinsichtlich des Reliefs zeigen die Agrarraumtypen A, C und D die geringste Heterogenität (Terrain-Rauigkeit), die Agrarraumtypen B, D, F und H befinden sich im mittleren Bereich. Die Terrain-Rauigkeit ist in Typ G am höchsten (Abbildung 8D)

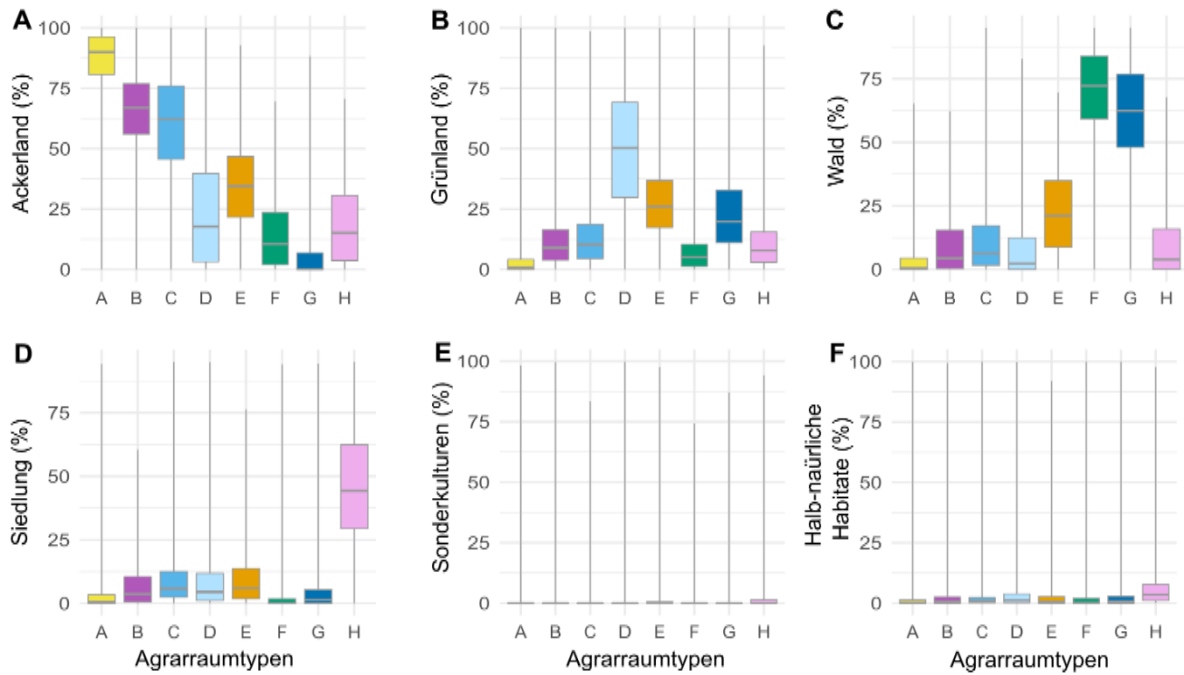


Abbildung 5: Ausprägung der Eingangsvariablen zur Landbedeckung innerhalb der Agrarraumtypen. Box-Whisker-Plots zeigen Ausprägung der Eingangsvariablen für die farblich und alphabetisch codierten Typen. Obere und untere Begrenzung der Boxen zeigen 75. und 25. Perzentilen, dicke schwarze Linie zeigt Mediane, vertikale Linien repräsentieren Minimum und Maximum.

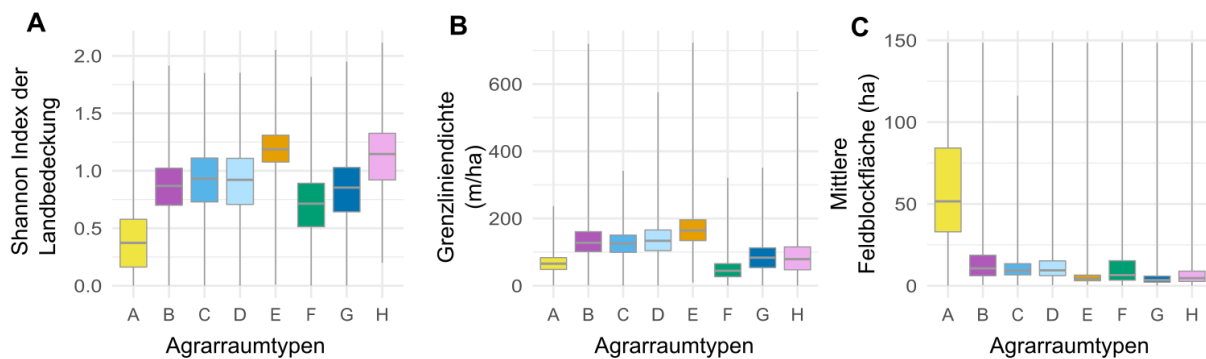


Abbildung 6: Ausprägung der Eingangsvariablen zur Landschaftsstruktur innerhalb der Agrarraumtypen. Box-Whisker-Plots zeigen Ausprägung der Eingangsvariablen für die farblich und alphabetisch codierten Typen. Obere und untere Begrenzung der Boxen zeigen 75. und 25. Perzentilen, dicke schwarze Linie zeigt Mediane, vertikale Linien repräsentieren Minimum und Maximum.

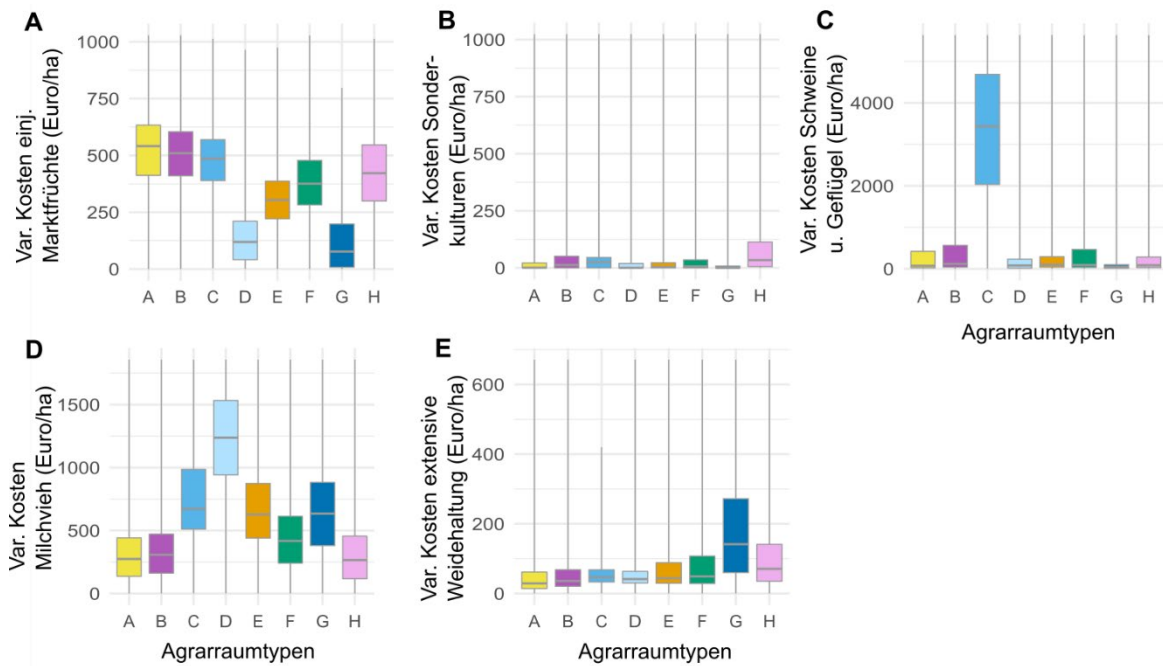


Abbildung 7: Ausprägung der Eingangsvariablen zur Nutzungsintensität innerhalb der Agrarraumtypen. Angegeben sind die variablen Kosten des Produktionstyps bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche. Extremwerte für b-e wurden gedeckelt (s. Methoden). Box-Whisker-Plots zeigen Ausprägung der Eingangsvariablen für die farblich und alphabetisch codierten Typen. Obere und untere Begrenzung der Boxen zeigen 75. und 25. Perzentilen, dicke schwarze Linie zeigt Mediane, vertikale Linien repräsentieren Minimum und Maximum.

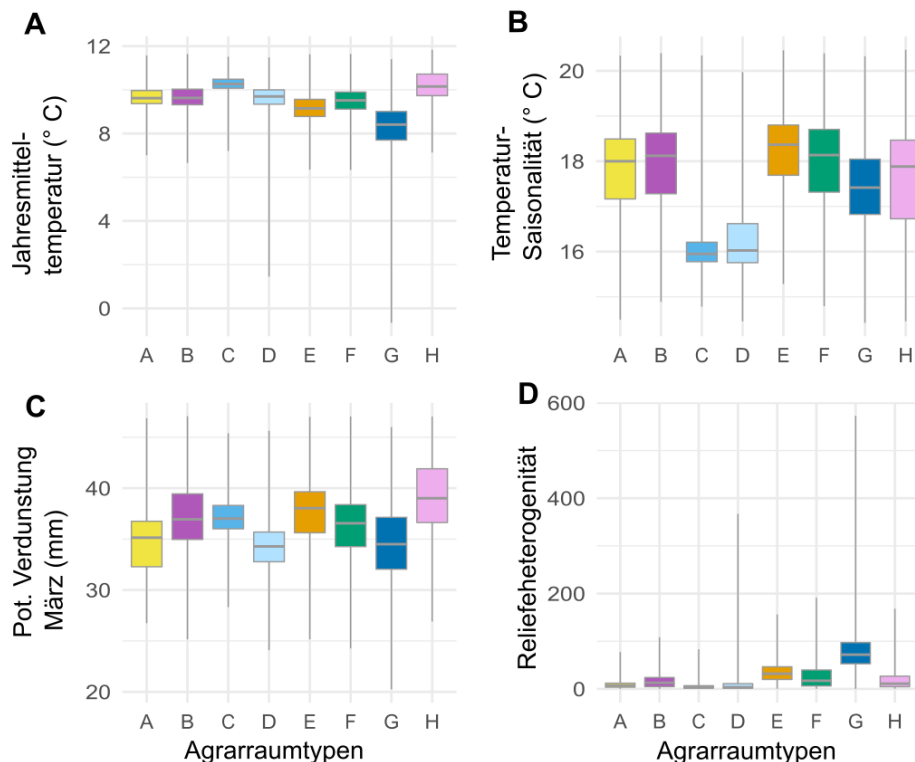


Abbildung 8: Ausprägung der Eingangsvariablen zu Klima und Relief innerhalb der Agrarraumtypen. Box-Whisker-Plots zeigen Ausprägung der Eingangsvariablen für die farblich und alphabetisch codierten Typen. Obere und untere Begrenzung der Boxen zeigen 75. und 25. Perzentilen, dicke schwarze Linie zeigt Mediane, vertikale Linien repräsentieren Minimum und Maximum.

4 Betrachtungen der Wirkung von agrarraumspezifischen Faktorenkomplexen auf die Biodiversität

Jeder Agrarraumtyp repräsentiert eine Kombination von Eigenschaften, die parallel auftreten und die Biodiversität interaktiv beeinflussen. Im Folgenden wird anhand einiger Beispiele diskutiert, wie die in den Agrarraumtypen widergespiegelten Assoziationen und Interaktionen, im Hinblick auf die Belastungen der Biodiversität in der Agrarlandschaft interpretiert werden können.

4.1 Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität verschiedener Produktionssysteme in den Acker-dominierten Agrarräumen

Die Agrarraumtypen A (Großflächiger, intensiver Ackerbau), B (Intensiver Ackerbau) und C (Intensiver Schweine- und Geflügelhaltung) sind Ackerland-dominierte Typen, die aber hinsichtlich ihrer Nutzungsintensität und Landschaftsstruktur genauer zu betrachten sind, um Schlussfolgerungen hinsichtlich vorrangiger Treiber der Biodiversität zu ziehen. Diese Typen zeigen, dass die Dimensionen Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität nicht unbedingt korrelieren, sondern differenziert betrachtet werden sollten (Persson et al., 2010). So weisen die drei Agrarraumtypen im Durchschnitt ähnliche variable Kosten für den Anbau von einjährigen Marktfrüchten auf, der Typ A sticht aber hinsichtlich der Landschaftsstruktur heraus. Gemessen an den hier gewählten Variablen muss der Typ A als sehr strukturarm betrachtet werden. Mit Blick für die Arten der Agrarlandschaft stellt diese Strukturarmut eine hohe Belastung dar, da Alternativ- Rückzugshabitate wie Saumstrukturen und halb-natürliche Habitate fehlen (Hötker et al., 2018). Dies deutet darauf hin, dass der Mangel an struktureller Heterogenität eine größere Bedrohung für die biologische Vielfalt von Ackerland für Typ A darstellt als für die Typen B und C.

Des Weiteren ermöglicht die differenzierte Betrachtung der Nutzungsintensität in den Agrarraumtypen A, B und C Aussagen über die Art der mit der landwirtschaftlichen Produktion verbundenen Belastungen auf die biologische Vielfalt (Rega et al., 2020). So ist z. B. die Produktion von einjährigen Marktfrüchten in ackerbaulich geprägten Agrarlandschaften verbunden mit einem hohen Einsatz von Pestiziden, Düngemitteln und anderen Agrochemikalien, die eine potenzielle Belastung für die Biodiversität darstellen (Klimek et al., 2007; Kleijn et al., 2009; Geiger et al., 2010). Der Agrarraumtyp C ist darüber hinaus durch hohe variable Kosten für Schweine- und Geflügelhaltung gekennzeichnet. Die intensive Schweine- und Geflügelhaltung ist auf die Produktion von tierischen Erzeugnissen in ganzjährigen Stallhaltungssystemen spezialisiert. Das Ackerland wird hauptsächlich für den Anbau von Futtermitteln genutzt. Neben der Belastung der Umwelt durch Agrochemikalien führt die intensive Tierhaltung im betrachteten Agrarraumtyp zu zusätzlichen Umweltproblemen, insbesondere durch die hohe Stickstoffbelastung durch große Mengen an Gülle und Stallmist, die auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden müssen (de Vries et al., 2021).

4.2 Zusammenhang von Nutzungsintensität, Produktionssystemen und biophysikalischen Faktoren

Die Integration von Variablen zur Nutzungsintensität sowie Klima und Relief gewährleistet ein besseres Verständnis des Zusammenspiels abiotischer Rahmenbedingungen der landwirtschaftlichen Produktion und der Folgen für die biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft. Zur Veranschaulichung: Im Agrarraumtyp F (Ackerbau-Wald-Mosaik) werden landwirtschaftliche Flächen vorrangig für den intensiven Anbau von einjährigen Marktfrüchten genutzt. In den Regionen des Typ F sind die klimatischen Voraussetzungen für den Anbau einjähriger Pflanzen gegeben und das Relief ist relativ flach. Im Gegensatz dazu ist der Agrarraumtype G, der ebenfalls ein Waldmosaik darstellt, durch ein bergiges Relief mit steilen Hängen und großen Höhenunterschieden gekennzeichnet. Zudem ist das Klima relativ feucht und kalt. In diesem Typ werden die nicht bewaldeten Flächen deshalb für die extensive

Weidehaltung genutzt, die durch einen geringen Einsatz von Agrochemikalien und eine niedrige Viehdichte gekennzeichnet ist. Die extensive Weidehaltung bietet ein hohes Potenzial für die Förderung der Vielfalt von Pflanzen und Tieren darunter viele seltene oder rückläufige Arten, die einen hohen Erhaltungswert haben (Klimek et al., 2007; Bengtsson et al., 2019). Extensive Weidesysteme insbesondere in zentrumsfernen, ländlichen Gebieten sind jedoch von der Aufgabe bedroht, verbunden mit einem vollständigen Rückzug der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, was eine Bedrohung für Arten dieser Agrarlandschaften darstellt (MacDonald et al., 2000; Gellrich et al., 2008).

5 Repräsentanz der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen in Bezug auf Agrarraumtypen

Die 915 Flächen der bundesweit repräsentativen Stichprobe sind annähernd flächenproportional auf die Agrarraumtypen sowie maskierten Gebiete verteilt (Tabelle 5), d. h. der Anteil der Stichprobenflächen in einem Agrarraumtyp an der Gesamtzahl entspricht in etwa dem Flächenanteil des Agrarraumtyps an der Gesamtfläche. Im Typ B und E liegt der Anteil der Stichprobenflächen etwas höher, in den anderen Typen etwas niedriger. Die genannten Typen sind flächenmäßig am größten, was diese Überrepräsentanz erklären könnte. Im kleinsten Agrarraumtyp, Typ C, liegen 46 Stichprobenflächen, was das Minimum darstellt im Vergleich zu den anderen Typen.

Einige Stichprobenflächen fallen in die maskierten Bereiche, und damit zum Beispiel in Gebiete, die nach dem hier verwendeten Verfahren als Wald- oder Siedlungsgebiete definiert sind. Im Fall der Agrarraumtypen wurde die Festlegung des Offenlandes auf Basis der Zellen des Hexagon-Gitters und einem Mindestbedeckung Offenland von 5 % getroffen (siehe Abschnitt 1.9) Für das HNV-Monitoring dagegen wurde kein Mindestanteil Offenlandfläche festgelegt (Mitschke et al., 2005; Hünig & Benzler, 2017).

Inwiefern die jeweilige Anzahl an Stichproben ausreichend ist, um ein agrarraumspezifisches, statistisch aussagekräftiges Monitoring zu bedienen, hängt von der Wahl der Indikatoren und der Methodik des Monitorings ab. Mithilfe von Power-Analysen, in denen die Varianz der entsprechenden Indikatoren eingeht, kann festgestellt werden, ob die Stichprobenumfänge innerhalb der Agrarraumtypen ausreichen. Diese sind aber nicht Gegenstand dieses Berichts.

6 Aggregation der Agrarraumtypen auf Gemeinde-Ebene

Um eine Methodik der Aggregation zu demonstrieren, wurde eine Aggregation der Agrarraumtypen auf Gemeinde-Ebene durchgeführt. In der Karte Abbildung 9 wurde jede der rund 11 000 Gemeinden demjenigen Typ zugeordnet, der den größten Flächenanteil innerhalb der jeweiligen Gemeinde-Grenzen aufweist (Mehrheits-Prinzip).

Es entsteht eine räumliche Darstellung der Typisierung, die homogenere Räume aufweist als die Auflösung auf Hexagon-Ebene. In der Realität maskiert diese Darstellung aber die wahren Verhältnisse innerhalb der Gemeinden. Nur etwa ein Drittel der Gemeinden ist von nur einem Agrarraumtypen dominiert, d. h. mindestens 50 % Abdeckung der Gemeindefläche (3901, Tabelle 6). Die meisten Gemeinden haben 2–3 prägende Agrarraumtypen.

Die sehr unterschiedliche Verteilung der Agrarraumtypen innerhalb der Gemeinden erlaubt aus Sicht der Autor*innen eine einfache Zuordnung nach dem Mehrheitsprinzip. Vielmehr sollte für die räumlich spezifische Ausgestaltung von Biodiversitätsprogrammen und für die landwirtschaftliche Beratung berücksichtigt werden, dass innerhalb einer Gemeinde oder einer anderen Bezugsebene mehrere Agrarraumtypen (und damit auch Zielbilder) nebeneinanderstehen können.

Tabelle 5: Verteilung der Stichprobenflächen des HNV-Monitorings auf die Agrarraumtypen sowie maskierten Gebiete.

Typ	Bezeichnung	Anzahl der Stichproben	Anteil der Stichproben an gesamten Stichprobenumfang	Flächenanteil an der Gesamtfläche Deutschlands
A	Großflächiger, intensiver Ackerbau	76	8,3 %	10,1 %
B	Intensiver Ackerbau	183	20,0 %	16,8 %
C	Intensive Schweine- und Geflügelhaltung	46	5,0 %	6,4 %
D	Intensive Milchviehhaltung	96	10,5 %	8,3 %
E	Mosaik landwirtschaftlicher Nutzungen	170	18,6 %	16,7 %
F	Ackerbau/Wald-Mosaik	94	10,3 %	11,7 %
G	Extensives Grünland-/Wald-Mosaik in Gebirgen	93	10,3 %	8,4 %
H	Landwirtschaft-/Siedlungsmosaik	104	11,4 %	8,8 %
	Städtische Gebiete	14	1,5 %	1,5 %
	Wald	27	3 %	9,0 %
	Andere	12	1,3 %	2,2 %

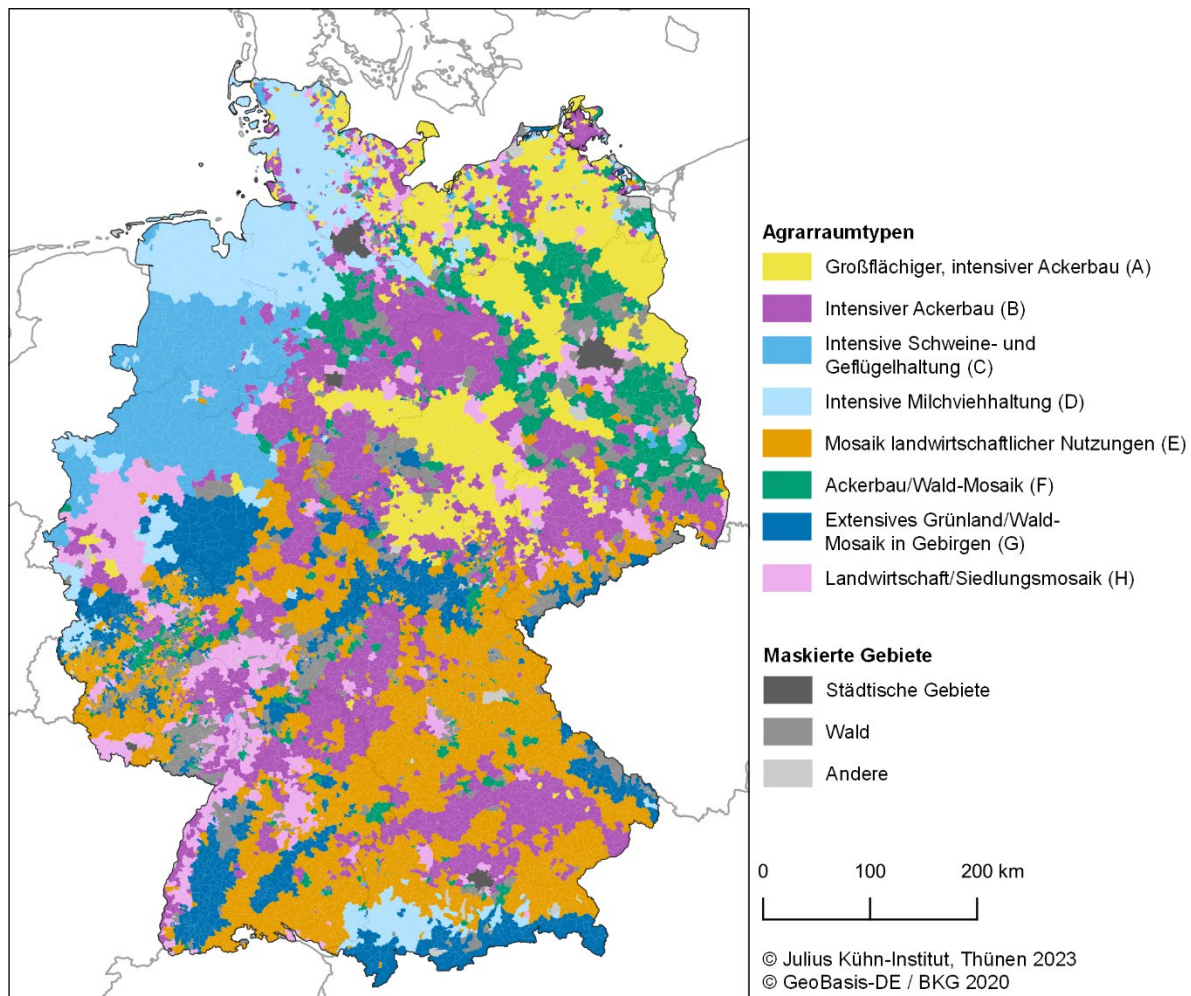


Abbildung 9: Karte Deutschlands mit räumlicher Verteilung der Agrarraumtypen A-H auf Ebene der Gemeinden. Zuordnung der Typen zu Gemeinden basiert auf Flächenanteil der Typen innerhalb der jeweiligen Gemeinde. Projektion: ETRS89 / UTM Zone 32N (EPSG: 25832). Eine digitale Kartendarstellung steht über den Mapviewer des Julius Kühn-Instituts (<https://sf.julius-kuehn.de/mapviewer/bm-landwirtschaft>) zur Verfügung.

7 Diskussion der Variablenauswahl und Datenquellen

Die Qualität von räumlichen Klassifikationen und Typisierungen wird vor allem durch die eingehenden Variablen bestimmt. In mehreren Workshops fand ein enger Austausch mit Expert*innen aus den Bereichen Landwirtschaft, Umwelt- und Naturschutz, Wissenschaft und Administration statt. Dabei wurde die Variablenauswahl an den Erfahrungen und Perspektiven von Forschung und Praxis angepasst. Ein wichtiger Baustein war ein Workshop 23.02.2021, in welchem die Plausibilität der Eingangsvariablen, erste Typisierungsergebnisse und Kriterien für die Anwendbarkeit diskutiert wurden. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Anmerkungen der Expert*innen und wie diese in die weitere Arbeit zur Typisierung eingeflossen sind, ist in Anhang C: Adressierung der Workshop-Ergebnisse dargestellt.

Neben der Auswahl der Eingangsvariablen ist deren Zuverlässigkeit und Genauigkeit von Bedeutung für die Eigenschaften und regionalen Abgrenzungen von Landschafts- und Landnutzungsklassifikationen, da Unsicherheiten in den Eingangsvariablen kumulativ in die Klassifizierungsergebnisse einfließen. Die Eingangsvariablen wurden auf Basis der zuverlässigsten Daten als Grundlage entwickelt, die auf nationaler Ebene verfügbar sind. Zukünftige Arbeiten zur Abgrenzung von Agrarräumen in Deutschland und Europa würden jedoch von der Verfügbarkeit von Landnutzungsdaten des Land Parcel Identification System (LPIS) und dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS)

profitieren. Da diese Daten von den Bundesländern zur Unterstützung der Auszahlung von GAP-Subventionen erhoben werden, liegen diese größtenteils in einer Auflösung auf Ebene von Schlägen und Betrieben vor. Die Nutzung dieser Daten könnte die derzeit verwendeten Daten zur Bodenbedeckung ergänzen und erheblich verbessern (Sagris et al., 2013). Auch die räumlich explizite Bestimmung von variablen Kosten unterhalb der Ebene von Verwaltungseinheiten wie Gemeinden wäre mit den Daten aus dem LPIS möglich.

Tabelle 6: Anzahl der Gemeinden, die durch verschiedene Anzahl von Agrarraumtypen geprägt sind sowie entsprechende Beispiele der einzelnen Kategorien.

Kategorien	Anzahl der Gemeinden	Beispiele
Gemeinden mit einem prägenden Agrarraumtypen	3901	Stadt Ibbenbüren: C (74 % Anteil an allen zur Gemeinde geörenden Hexagonen) Gemeinde Kleinkarlbach: H (82 %) Gemeinde Hausen: E (52 %)
Gemeinden mit zwei prägenden Agrarraumtypen	5814	Gemeinde Nerdlen: D (58 %), G (42 %) Gemeinde Gartow: B (46 %), F (24 %) Gemeinde Niederbrombach: E (55 %), G (40 %)
Gemeinden mit drei prägenden Agrarraumtypen	1260	Gemeinde Kölbingen: E (43 %), G (33 %), D (25 %) Gemeinde Beindersheim: B (49 %), A (27 %), H (23 %) Gemeinde Gutenzell-Hürbel: E (48 %), Wald (26 %), F (23 %)
Gemeinden mit 4 prägenden Agrarraumtypen	26	Stadt Grebenau: F (26 %), B (26 %), E (22 %), Wald (22 %) Gemeinde Ettersburg: H (28 %), A (26 %), F (24 %), E (21 %)
Gemeinden ohne prägende Agrarraumtypen (diverse Gemeinden)	6	Gemeinde Lubmin

Der Agrarsektor ist dynamisch. Wirtschaftliche oder politische Veränderungen können die Ausprägung und Verteilung der Eingangsvariablen zu Landbedeckung und Nutzungsintensität erheblich und kurzfristig beeinflussen. Um die Gültigkeit der räumlichen Ausrichtung von Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität in Agrarlandschaften in der Zukunft zu gewährleisten, sollte die Zuordnung der Agrarraumtypen zu den Regionen durch Verwendung aktualisierter Eingangsvariablen regelmäßig überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Für die Verwendung der Typisierung als räumliche Ebene für Berichte im Rahmen eines Biodiversitätsmonitorings muss diese Veränderlichkeit berücksichtigt und transparent dokumentiert und kommuniziert werden. Die Zuordnung bestehender Stichprobenflächen z. B. des HNV-Monitorings kann sich bei einer Aktualisierung ändern, weshalb sich die Agrarraumtypisierung nur bedingt als Kulisse zur Stratifizierung eignet.

8 Schlussfolgerung

Die Typisierung der Agrarraume Deutschlands bildet die mehrdimensionalen Zusammenhänge und die damit verbundenen Wechselwirkungen zwischen Landbedeckung, Landschaftsstruktur und Nutzungsintensität, Klima und Relief räumlich ab. Die Anzahl der repräsentativen Typen stellt eine solide Grundlage dar, um die räumliche Ausrichtung von Maßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der biologischen Vielfalt zu erleichtern.

Für das Projekt BM-Landwirtschaft bildet die Typisierung die Ausgangsbasis für die Ableitung von räumlich differenzierten Zielbildern, die Bewertung von Wirksamkeit und Realisierbarkeit existierender Politikziele und -maßnahmen sowie für die räumliche Priorisierung von Indikatoren, um die Erreichung der Zielbilder zu überprüfen. In den weiteren Berichtsteilen wurden die Bewertung von Politikzielen und -maßnahmen (Teil 2; Holz et al., 2026), die Entwicklung von Zielbildern (Teil 3; Sietz et al., 2026) und Ableitung von Indikatoren-Sets (Teil 4; Pingel et al., 2026) ausführlich anhand der drei Agrarraumtypen ausgearbeitet:

- Großflächiger Intensiver Ackerbau (A)
- Intensive Schweine- und Geflügelhaltung (C)
- Extensives Grünland-/Wald-Mosaik in Gebirgen (G)

Die Methodik wurde zusammenfassend ebenfalls für die fünf weiteren Agrarraumtypen durchgeführt.

Über die Nutzung innerhalb des Projektes BM-Landwirtschaft hinaus kann die Agrarraumtypisierung als Kulisse für weitere Zwecke dienen. So wird im Rahmen des Verbundprojekts MonViA diskutiert, für welche Indikatoren die Agrarraumtypisierung als Berichtskulisse dienen kann, um den Zustand und die Entwicklung der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften zu beschreiben.

Ferner kann die Agrarraumtypisierung Forschungsprojekten und Demonstrationsvorhaben helfen, landwirtschaftliche Regionen, Landschaftsausschnitte, Betriebe oder Einzelflächen hinsichtlich ähnlicher Faktorenkomplexen auszuwählen, um eine bessere Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit von Ergebnissen zu gewährleisten.

Literatur

- Ackermann, W., D. Fuchs, J. Tschiche, 2020:** Ökosystem-Monitoring auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen (ÖSM-I): Abschlussbericht des gleichnamigen F+E-Vorhabens (FKZ: 3516 82 1100). BfN-Skripten, 586. Bonn, Bundesamt für Naturschutz (BfN), 190 S., DOI: 10.19217/skr586.
- AdV, 2008:** ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM (7.1.0). Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens: 357 S., URL: <https://www.adv-online.de/GeoInfoDok/GeoInfoDok-6.0/>. Zugriff: 3. Januar 2022.
- Batáry, P., R. Gallé, F. Riesch, C. Fischer, C.F. Dormann, O. Mußhoff, P. Császár, S. Fusaro, C. Gayer, A.-K. Happe, K. Kurucz, D. Molnár, V. Rösch, A. Wietzke, T. Tschardtke, 2017:** The former Iron Curtain still drives biodiversity-profit trade-offs in German agriculture. *Nature Ecology & Evolution* **1** (9), 1279–1284, DOI: 10.1038/s41559-017-0272-x.
- Beckmann, M., K. Gerstner, M. Akin-Fajiye, S. Ceauşu, S. Kambach, N.L. Kinlock, H.R.P. Phillips, W. Verhagen, J. Gurevitch, S. Klotz, T. Newbold, P.H. Verburg, M. Winter, R. Seppelt, 2019:** Conventional land-use intensification reduces species richness and increases production: A global meta-analysis. *Global Change Biology* **25** (6), 1941–1956, DOI: 10.1111/gcb.14606.
- Bengtsson, J., J.M. Bullock, B. Egoh, C. Everson, T. Everson, T. O'Connor, P.J. O'Farrell, H.G. Smith, R. Lindborg, 2019:** Grasslands-more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* **10** (2), e02582, DOI: 10.1002/ecs2.2582.
- BKG, 2017:** Digitales Basis-Landschaftsmodell (Ebenen) (Basis-DLM), URL: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-basis-landschaftsmodell-ebenen-basis-dlm-ebenen.html>.
- BKG, 2019:** Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m (DGM200), URL: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-gelandemodell-gitterweite-200-m-dgm200.html>. Zugriff: 15. November 2020.
- BKG, 2020:** Verwaltungsgebiete 1 : 25 000 (VG25), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 19 S., URL: https://mis.bkg.bund.de/trefferanzeige?docuuid=8cf0950e-ccfc-4dad-9cb8-7454283126c3#detail_overview. Zugriff: 30. April 2025.
- BLfL, 2020:** Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten, URL: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>. Zugriff: 27. Juli 2020.
- Bobbink, R., K. Hicks, J. Galloway, T. Spranger, R. Alkemade, M. Ashmore, M. Bustamante, S. Cinderby, E. Davidson, F. Dentener, B. Emmett, J.-W. Erisman, M. Fenn, F. Gilliam, A. Nordin, L. Pardo, W. de Vries, 2010:** Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications* **20** (1), 30–59, DOI: 10.1890/08-1140.1.
- Bohner, A., J. Karrer, R. Walcher, D. Brandl, K. Michel, A. Arnberger, T. Frank, J.G. Zaller, 2019:** Ecological responses of semi-natural grasslands to abandonment: case studies in three mountain regions in the Eastern Alps. *Folia Geobotanica* **54** (3-4), 211–225, DOI: 10.1007/s12224-019-09355-2.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2017:** ATKIS Basic Digital Landscape Model, URL: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-basis-landschaftsmodell-ebenen-basis-dlm-ebenen.html>.
- Busch, M., J. Katzenberger, S. Trautmann, B. Gerlach, R. Dröschmeister, C. Sudfeldt, 2020:** Drivers of population change in common farmland birds in Germany. *Bird Conservation International* **30** (3), 335–354, DOI: 10.1017/S0959270919000480.

- Cassman, K.G., P. Grassini, 2020:** A global perspective on sustainable intensification research. *Nature Sustainability* **3** (4), 262–268, DOI: 10.1038/s41893-020-0507-8.
- Chuman, T., D. Romportl, 2010:** Multivariate classification analysis of cultural landscapes: An example from the Czech Republic. *Landscape and Urban Planning* **98** (3-4), 200–209, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.08.003.
- Dauber, J., S. Klimek, T. G. Schmidt, 2016:** Konzept für ein Biodiversitätsmonitoring Landwirtschaft in Deutschland. Thünen Working Paper, 58. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), 40 S.
- de Vries, W., L. Schulte-Uebbing, H. Kros, J.C. Voogd, G. Louwagie, 2021:** Spatially explicit boundaries for agricultural nitrogen inputs in the European Union to meet air and water quality targets. *Science of the Total Environment* **786**, 147283, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147283.
- Dieker, P., S. Klimek, J. Dauber, 2021:** Zielbilder für Biodiversität in Agrarlandschaften. *Geographische Rundschau* (5), 36–39.
- Dou, Y., F. Cosentino, Z. Malek, L. Maiorano, W. Thuiller, P.H. Verburg, 2021:** A new European land systems representation accounting for landscape characteristics. *Landscape Ecology*, DOI: 10.1007/s10980-021-01227-5.
- Dröschmeister, R., 2001:** Bundesweites Naturschutzmonitoring in der "Normallandschaft" mit der Ökologischen Flächenstichprobe. *Natur und Landschaft* **76** (2), 58–69.
- Dullinger, I., F. Essl, D. Moser, K. Erb, H. Haberl, S. Dullinger, 2021:** Biodiversity models need to represent land-use intensity more comprehensively. *Global Ecology and Biogeography* **30** (5), 924–932, DOI: 10.1111/geb.13289.
- DWD, 2022:** DWD Climate Data Center (CDC), URL: <https://opendata.dwd.de/>. Zugriff: 3. Januar 2022.
- European Environmental Agency (EEA), 2019:** The European Environment - State and Outlook 2020: Knowledge for transition to a sustainable Europe, 499 S., DOI: 10.2800/96749.
- Ekroos, J., J. Heliölä, M. Kuussaari, 2010:** Homogenization of lepidopteran communities in intensively cultivated agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology* **47** (2), 459–467, DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01767.x.
- Emmerson, M., M.B. Morales, J.J. Oñate, P. Batáry, F. Berendse, J. Liira, T. Aavik, I. Guerrero, R. Bommarco, S. Eggers, T. Pärt, T. Tscharncke, W. Weisser, L. Clement, J. Bengtsson, 2016:** Chapter Two - How Agricultural Intensification Affects Biodiversity and Ecosystem Services. *Advances in Ecological Research* (eds A.J. Dumbrell, R.L. Kordas & G. Woodward), pp. 43–97. Academic Press. DOI: 10.1016/bs.aecr.2016.08.005.
- Erb, K.-H., C. Lauk, T. Kastner, A. Mayer, M.C. Theurl, H. Haberl, 2016:** Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. *Nature communications* **7**, 11382, DOI: 10.1038/ncomms11382.
- Fahrig, L., J. Girard, D. Duro, J. Pasher, A. Smith, S. Javorek, D. King, K.F. Lindsay, S. Mitchell, L. Tischendorf, 2015:** Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **200**, 219–234, DOI: 10.1016/j.agee.2014.11.018.
- Firbank, L.G., S. Petit, S. Smart, A. Blain, R.J. Fuller, 2008:** Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* **363** (1492), 777–787, DOI: 10.1098/rstb.2007.2183.
- Geiger, F., J. Bengtsson, F. Berendse, W.W. Weisser, M. Emmerson, M.B. Morales, P. Ceryngier, J.**

- Liira, T. Tschardtke, C. Winqvist, S. Eggers, R. Bommarco, T. Pärt, V. Bretagnolle, M. Plantegenest, L.W. Clement, C. Dennis, C. Palmer, J.J. Oñate, I. Guerrero et al., 2010:** Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* **11** (2), 97–105, DOI: 10.1016/j.baae.2009.12.001.
- Gellrich, M., P. Baur, B.H. Robinson, P. Bebi, 2008:** Combining classification tree analyses with interviews to study why sub-alpine grasslands sometimes revert to forest: A case study from the Swiss Alps. *Agricultural Systems* **96** (1-3), 124–138, DOI: 10.1016/j.agsy.2007.07.002.
- Geschke, J., K. Vohland, A. Bonn, J. Dauber, M.O. Gessner, K. Henle, J. Nieschulze, D. Schmeller, J. Settele, N. Sommerwerk, F. Wetzel, 2019:** Biodiversitätsmonitoring in Deutschland: Wie Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft ein nationales Monitoring unterstützen können. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* **28** (3), 265–270, DOI: 10.14512/gaia.28.3.6.
- Gocht, A., N. Röder, 2014:** Using a Bayesian estimator to combine information from a cluster analysis and remote sensing data to estimate high-resolution data for agricultural production in Germany. *International Journal of Geographical Information Science* **28** (9), 1744–1764, DOI: 10.1080/13658816.2014.897348.
- Holz, L., C. Krämer, M. Birkenstock, N. Röder, D. Sietz, M. Pingel, S. Klimek, B. Golla, 2026:** Bewertung der agrarraumspezifischen Wirksamkeit und Realisierbarkeit existierender Politikziele und -maßnahmen zum Schutz der Biodiversität. *Thünen Working Paper*, 279. Braunschweig, DOI: 10.3220/253-2026-0.
- Hötker, H., C. Brühl, C. Buhk, R. Oppermann, 2018:** Biodiversitätsflächen zur Minderung der Umweltauswirkungen von Pflanzenschutzmitteln – Anforderungen an Kompensationsmaßnahmen im Risikomanagement. *Texte*, 53. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt, 65 S.
- Hünig, C., A. Benzler, 2017:** Das Monitoring der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert in Deutschland. Bonn-Bad Godesberg, BfN-Skripten, 476. URL: https://bf.n.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/244/file/Skript_476.pdf.
- Iizumi, T., N. Ramankutty, 2015:** How do weather and climate influence cropping area and intensity? *Global Food Security* **4** (3), 46–50, DOI: 10.1016/j.gfs.2014.11.003.
- IPBES, 2019:** Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, 60 S., DOI: 10.5281/ZENODO.5657041.
- Kleijn, D., F. Kohler, A. Báldi, P. Batáry, E.D. Concepción, Y. Clough, M. Díaz, D. Gabriel, A. Holzschuh, E. Knop, A. Kovács, E.J.P. Marshall, T. Tschardtke, J. Verhulst, 2009:** On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **276**, 903–909, DOI: 10.1098/rspb.2008.1509.
- Kleijn, D., M. Rundlöf, J. Scheper, H.G. Smith, T. Tschardtke, 2011:** Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? *Trends in Ecology & Evolution* **26** (9), 474–481, DOI: 10.1016/j.tree.2011.05.009.
- Klimek, S., A. Richter gen. Kemmermann, M. Hofmann, J. Isselstein, 2007:** Plant species richness and composition in managed grasslands: The relative importance of field management and environmental factors. *Biological Conservation* **134** (4), 559–570, DOI: 10.1016/j.biocon.2006.09.007.
- KTBL, 2020:** Standarddeckungsbeiträge, URL: www.ktbl.de/webanwendungen/standarddeckungsbeitraege. Zugriff: 27. Juli 2020.
- Leisch, F., 2006:** A toolbox for -centroids cluster analysis. *Computational Statistics & Data Analysis* **51**

(2), 526–544, DOI: 10.1016/j.csda.2005.10.006.

Lendi, M., 1995: Leitbilder in der räumlichen Entwicklung. Hannover (Handwörterbuch der Raumordnung), Seiten 608–614. URL: https://www.arl-net.de/system/files/l_s0543-0624.pdf.

Levers, C., M. Schneider, A.V. Prishchepov, S. Estel, T. Kuemmerle, 2018: Spatial variation in determinants of agricultural land abandonment in Europe. *Science of the Total Environment* **644**, 95–111, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.326.

MacDonald, D., J. Crabtree, G. Wiesinger, T. Dax, N. Stamou, P. Fleury, J. Gutierrez Lazpita, A. Gibon, 2000: Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management* **59** (1), 47–69, DOI: 10.1006/jema.1999.0335.

Martin, A.E., S.J. Collins, S. Crowe, J. Girard, I. Naujokaitis-Lewis, A.C. Smith, K. Lindsay, S. Mitchell, L. Fahrig, 2020: Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **288**, 106698, DOI: 10.1016/j.agee.2019.106698.

Martin, E.A., M. Dainese, Y. Clough, A. Báldi, R. Bommarco, V. Gagic, M.P.D. Garratt, A. Holzschuh, D. Kleijn, A. Kovács-Hostyánszki, L. Marini, S.G. Potts, H.G. Smith, D. Al Hassan, M. Albrecht, G.K.S. Andersson, J.D. Asís, S. Aviron, M.V. Balzan, L. Baños-Picón et al., 2019: The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecology Letters* **22** (7), 1083–1094, DOI: 10.1111/ele.13265.

Meier, E.S., G. Lüscher, E. Knop, 2022: Disentangling direct and indirect drivers of farmland biodiversity at landscape scale. *Ecology Letters* **25** (11), 2422–2434, DOI: 10.1111/ele.14104.

Metzger, M.J., D.J. Brus, R.G.H. Bunce, P.D. Carey, J. Gonçalves, J.P. Honrado, R. Jongman, A. Trabucco, R. Zomer, 2013: Environmental stratifications as the basis for national, European and global ecological monitoring. *Ecological Indicators* **33**, 26–35, DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.11.009.

Meynen, E., J. Schmithüsen, 1962: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands / unter Mitwirkung des Zentralausschusses für Deutsche Landeskunde hrsg. von E. Meynen ... ; Bd. 1: 1953 - 1962. Bad Godesberg, Bundesanst. für Landeskunde u. Raumforschung.

Mitschke, A., Sudfeldt, Christoph, H. Heidrich-Riske, R. Dröschmeister, 2005: Das neue Brutvogelmonitoring in der Normallandschaft Deutschlands - Untersuchungsgebiete, Erfassungsmethode und erste Ergebnisse. *Vogelwelt* **126**, 127–140.

MonViA Verbundprojekt, 2024: MonViA Indikatorenbericht 2024 - Bundesweites Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften. Überarbeitete Version Dezember 2024. Bonn, URL: <https://www.agrarmonitoring-monvia.de/monvia/monitoring-der-biologischen-vielfalt>.

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, 2020: Biodiversität und Management von Agrarlandschaften – Umfassendes Handeln ist jetzt wichtig. Stellungnahme. Halle (Saale), 80 S.

Neuenfeldt, S., A. Gocht, N. Röder, 2020: Thünen-Agraratlas: Disaggregierte Darstellung der landwirtschaftlichen Nutzung auf Basis der Daten der Statistischen Ämter der Länder. vorläufige Ergebnisse, Thünen-Institut, URL: <https://atlas.thuenen.de/atlanten/agraratlas>. Zugriff: 29. April 2025.

Oberlack, C., S. Pedde, L. Piemontese, T. Václavík, D. Sietz, 2023: Archetypes in support of tailoring land-use policies. *Environmental Research Letters* **18** (6), 60202, DOI: 10.1088/1748-9326/acd802.

Perić, Z., R. Neukampf, C. Sinn, 2022: Geografisches hexagonales Gitter mit 1 Quadratkilometer

Zellengröße für Deutschland - Geographical hexagonal grid with one square kilometer cell size for Germany (Version 1) [Data set]., URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6623511>.

Persson, A.S., O. Olsson, M. Rundlöf, H.G. Smith, 2010: Land use intensity and landscape complexity—Analysis of landscape characteristics in an agricultural region in Southern Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **136** (1-2), 169–176, DOI: 10.1016/j.agee.2009.12.018.

Pingel, M., N. Röder, C. Sinn, D. Sietz, S. Klimek, B. Golla, 2025: Typology of agricultural land systems of Germany at a resolution of 100 hectares, URL: <https://portal.edirepository.org/nis/mapbrowse?packageid=edi.1339.1>. Zugriff: 3. Dezember 2025.

Pingel, M., B. Golla, M. Birkenstock, C. Krämer, L. Holz, N. Röder, D. Sietz, S. Klimek, 2026: Ableitung und Priorisierung agrarraum-spezifischer Indikatoren-Sets für ein Monitoring der Biodiversität in Agrarlandschaften. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut*, **232**, Julius Kühn-Institut (JKI) Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, DOI: 10.5073/20251219-095701-0.

Poschlod, P., 2017: Geschichte der Kulturlandschaft: Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Lebensraum- und Artenvielfalt in Mitteleuropa. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 1322 S., ISBN: 9783818600297.

Power, A.G., 2010: Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* **365** (1554), 2959–2971, DOI: 10.1098/rstb.2010.0143.

R Core Team, 2021: R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.

Raderschall, C.A., R. Bommarco, S.A. Lindström, O. Lundin, 2021: Landscape crop diversity and semi-natural habitat affect crop pollinators, pollination benefit and yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **306**, 107189, DOI: 10.1016/j.agee.2020.107189.

Rega, C., C. Short, M. Pérez-Soba, M. Luisa Paracchini, 2020: A classification of European agricultural land using an energy-based intensity indicator and detailed crop description. *Landscape and Urban Planning* **198** (7), 103793, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2020.103793.

Riley, S.J., S.D. DeGloria, R. Elliot, 1999: A Terrain Ruggedness Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences* **5** (1-4), 23–27.

Röder, N., A. Ackermann, S. Baum, H. G. S. Böhner, B. Laggner, S. Lakner, S. Ledermüller, J. Wegmann, M. Zinnbauer, J. Strassemeyer, F. Pöllinger, 2022: Evaluierung der GAP-Reform von 2013 aus Sicht des Umweltschutzes anhand einer Datenbankanalyse von In-VeKoS-Daten der Bundesländer. *Texte / Umweltbundesamt*, 75/2022. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt, 288 S.

Roßberg, D., V. Michel, R. Neukampf, 2007: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **59** (7), 155–161.

Sagris, V., P. Wojda, P. Milenov, W. Devos, 2013: The harmonised data model for assessing Land Parcel Identification Systems compliance with requirements of direct aid and agri-environmental schemes of the CAP. *Journal of Environmental Management* **118**, 40–48, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.12.019.

Schröder, W., G. Schmidt, 2000: Raumgliederung für die Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* **12** (4), 236–243, DOI: 10.1065/uwsf2000.05.015.

Sietz, D., S. Klimek, J. Dauber, 2022: Tailored pathways toward revived farmland biodiversity can in-

spire agroecological action and policy to transform agriculture. *Communications Earth & Environment* **3** (1), 1941, DOI: 10.1038/s43247-022-00527-1.

Sietz, D., M. Birkenstock, B. Golla, C. Krämer, M. Pingel, L. Holz, N. Röder, S. Klimek, 2026: Entwicklung transformativer Zielbilder zur Förderung der Biodiversität und ihrer Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften. Thünen Working Paper, **280**. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), DOI: 10.3220/253-2026-1.

Teillard, F., G. Allaire, E. Cahuzac, F. Léger, E. Maigné, M. Tichit, 2012: A novel method for mapping agricultural intensity reveals its spatial aggregation: Implications for conservation policies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **149** (1), 135–143, DOI: 10.1016/j.agee.2011.12.018.

Tscharntke, T., A.M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, C. Thies, 2005: Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* **8** (8), 857–874, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x.

Walz, U., 2004: Landschaftsstrukturmaße - Indizes Begriffe und Methoden. In: Walz, U., G. Lutze, A. Schultz, R.-U. Syrbe (Hrsg.). *Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen*, Dresden, Leibniz-Inst. für ökologische Raumentwicklung e.V, S. 15–27.

Wolff, S., S. Hüttel, C. Nendel, T. Lakes, 2021: Agricultural Landscapes in Brandenburg, Germany: An Analysis of Characteristics and Spatial Patterns. *International Journal of Environmental Research* **25** (4), 166, DOI: 10.1007/s41742-021-00328-y.

Zimmermann, H., 2009: What is a „Leitbild“? Some Reflections on the Origin and use of the German Expression. In: Strubelt, W. (Hrsg.). *Guiding principles for spatial development in Germany*, Berlin, Heidelberg, Springer, S. 1–12, DOI: 10.1007/978-3-540-88839-0_2.

Abkürzungsverzeichnis

aRI	Angepasster Rand Index
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
Basis-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
BB	Brandenburg
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
DGM200	Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m
DWD	Deutscher Wetterdienst
HE	Hessen
HNV	High-nature-value farmland
InVeKoS	Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem
NI	Niedersachsen
NW	Nordrhein-Westfalen
SH	Schleswig-Holstein
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ausschnitt des 100-ha-Hexagon-Rasters (grau) beispielhaft für den Landkreis Uckermark im Nordwesten des Bundeslandes Brandenburg mit Gemeindegrenzen.	11
Abbildung 2	Karte Deutschlands mit räumlicher Verteilung der maskierten Hexagone. Diese sind nicht in die Analyse zur Typisierung der Agrarräume eingegangen.	18
Abbildung 3	Angepasster Rand Index (aRI) als Maß für die Cluster-Stabilität zwischen zwei Analyse-Ergebnissen in Abhängigkeit von der Cluster-Anzahl.	20
Abbildung 4	Karte Deutschlands mit räumlicher Verteilung der Agrarraumtypen (A-H).	21
Abbildung 5	Ausprägung der Eingangsvariablen zur Landbedeckung innerhalb der Agrarraumtypen.	25
Abbildung 6	Ausprägung der Eingangsvariablen zur Landschaftsstruktur innerhalb der Agrarraumtypen.	25
Abbildung 7	Ausprägung der Eingangsvariablen zur Nutzungsintensität innerhalb der Agrarraumtypen.	26
Abbildung 8	Ausprägung der Eingangsvariablen zu Klima und Relief innerhalb der Agrarraumtypen.	26
Abbildung 9	Karte Deutschlands mit räumlicher Verteilung der Agrarraumtypen A-H auf Ebene der Gemeinden.	30
Abbildung A1	Kartendarstellung der einzelnen Agrarraumtypen A-H.	44
Abbildung B1	Hauptkomponentenanalyse der Klimavariablen. Darstellung der ersten und zweiten Hauptkomponente (a) sowie der ersten und dritten Hauptkomponente (b)	46
Abbildung B2	Ladungen der Klimavariablen auf die erste (a), zweite (b), und dritte (c) Hauptkomponente.	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht über die für die Cluster-Analyse verwendeten Eingangsvariablen.	12
Tabelle 2	Landbedeckungsvariablen mit zugehörigen ATKIS Objektarten (Bezeichnungen nach ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM)	13
Tabelle 3	Übersicht der Maskierungsschritte.	18
Tabelle 4	Flächengröße der Agrarraumtypen Deutschlands sowie Flächenanteil bezogen auf die Gesamtfläche Deutschlands bzw. die gesamte Ackerfläche/Grünlandfläche.	22
Tabelle 5	Verteilung der Stichprobenflächen des HNV-Monitorings auf die Agrarraumtypen sowie maskierten Gebiete.	29
Tabelle 6	Anzahl der Gemeinden, die durch verschiedene Anzahl von Agrarraumtypen geprägt sind sowie entsprechende Beispiele der einzelnen Kategorien.	31
Tabelle A1	Beschreibende Statistik der Indikatoren, die für die Clusteranalyse verwendet wurden.	43

Danksagung

Die Autor*innen des Berichts danken sehr herzlich allen beteiligten externen Expert*innen aus Wissenschaft, Politik und Administration für Ihre engagierte, konstruktive und kritische Mitarbeit an der Workshop-Reihe zum Verbundprojekt „Entwicklung der grundlegenden Standards für die Umsetzung eines Biodiversitätsmonitorings in der Landwirtschaft (BM-Landwirtschaft)“. Die Workshops waren ein zentraler Bestandteil des Verbundprojektes. Die Anregungen, Fragen und kritischen Hinweise der Expert*innen haben wesentlich zum Projekterfolg beitragen.

Besonderer Dank gilt zudem Jens Dauber, Doreen Gabriel und Niels Hellwig für Ihre Mitwirkung an den Workshops sowie der beratenden Unterstützung der geostatistischen Auswertungen.

Anhang A: Zusätzliche Tabellen und Abbildungen

Tabelle A1: Beschreibende Statistik der Eingangsvariablen, die für die Clusteranalyse verwendet wurden. Angegeben sind: Wertebereich (Minimum - Maximum), Mittelwert, Standardabweichung (Std), 25., 50., 75., 95. und 99. Perzentile.

Eingangsvariablen	Einheit	Wertebereich	Mittelwert	Std.	25.	50.	75.	95.	99.
Ackerland	%	0 – 100	40	31	10	37	66	93	100
Sonderkulturen	%	0 – 100	1	6	>1	>1	>1	07	33
Grünland	%.	0 – 100	18	19	4	12	26	60	85
Wald	%	0 – 100	25	27	1	13	3	84	93
Siedlung	%	0 – 100	11	17	>1	4	13	49	80
Halb-natürliche Habitats	%	0 – 100	03	07	>1	1	3	13	37
Shannon Index der Landbedeckung	-	0 – 2.11	0.88	0.36	0.65	0.91	1.14	1.40	1.59
Grenzliniendichte	m/ha	0 – 723	111	60	66	107	151	216	266
Mittlere Feldblockfläche	ha	<0.1 – 148	16.5	24.5	4.0	7.5	17.0	64.9	148.0
Variable Kosten einjährige Marktfrüchte	EURO/ha	0 – 1029	370	203	231	377	520	690	822
Variable Kosten für Sonderkulturen	EURO/ha	0 – 1024	48	140	0	6	35	197	1002
Variable Kosten für Schweine- und Geflügelhaltung	EURO/ha	0 – 5633	530	1037	35	99	532	2896	5633
Variable Kosten für Milchvieh- und Mastbullenhaltung	EURO/ha	0 – 1857	562	420	249	472	770	1452	1857
Variable Kosten für extensive Weisehaltung	EURO/ha	0 – 671	87	112	28	46	98	314	621
Jahresmitteltemperatur	°C	-0.7 – 11.8	9.5	0.9	9.1	9.6	10.0	10.8	11.3
Temperatur-Saisonalität	°C range	14.4 – 20.5	17.6	1.1	16.7	17.8	18.5	19.2	19.8
Potentielle Verdunstung im März	mm	20.3 – 47.1	36.5	3.50	34.2	36.6	38.8	42.3	45.5
Reliefheterogenität	-	0.1 – 573.0	25.6	31.4	4.7	14.8	36.0	81.7	139.0

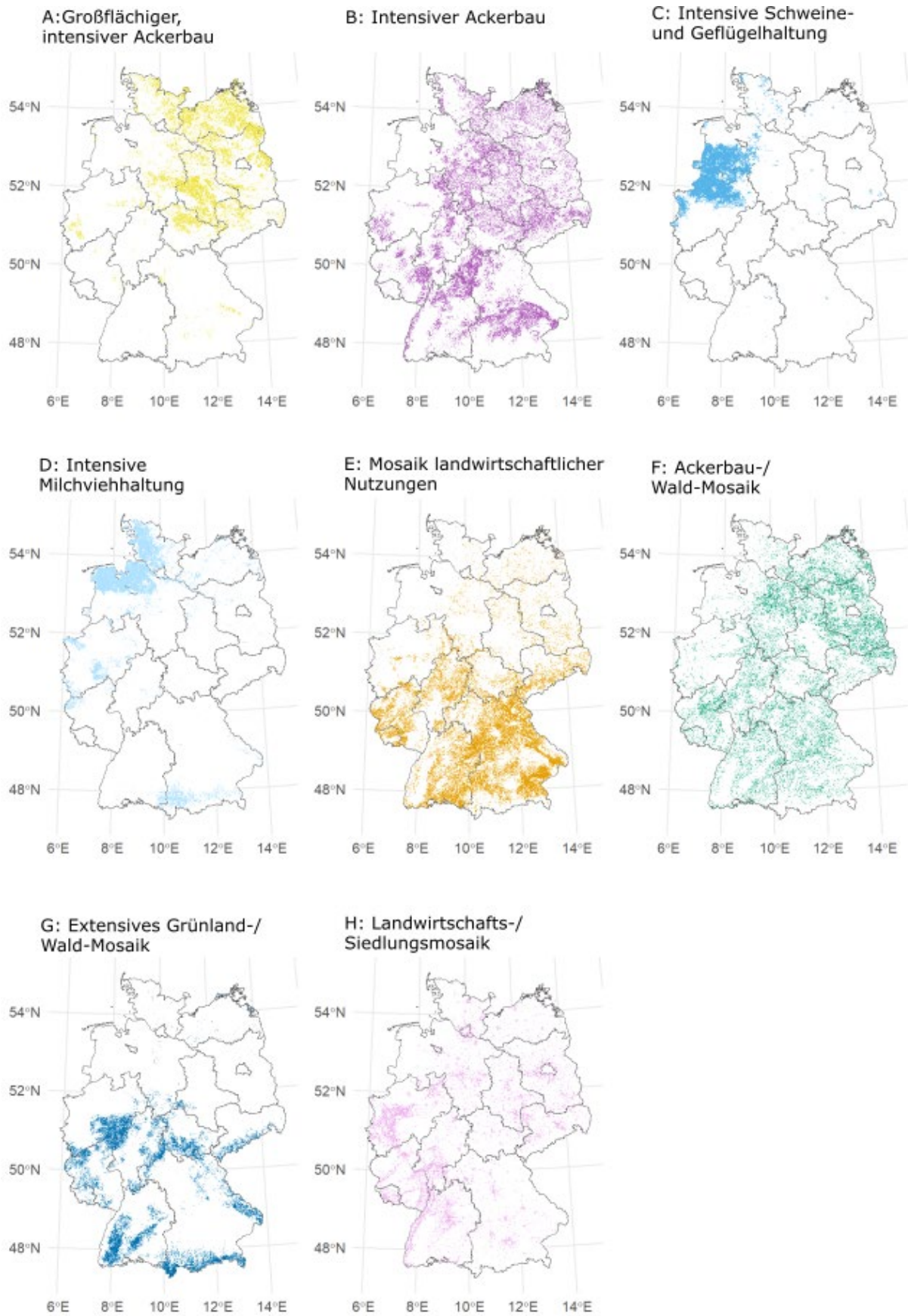


Abbildung A1: Kartendarstellung der einzelnen Agrarraumtypen A-H. Bundeslandgrenzen sind in grau dargestellt (Datengrundlage Bundeslandgrenzen: BKG, Darstellung: JKI).

Anhang B: Selektion der Klimavariablen

Die Integration vieler, hoch-korrelierter Klimavariablen in die Cluster-Analyse würde diese übermäßig stark beeinflussen, ohne dass die zugrundeliegenden Gradienten bekannt wären. Daher war es das Ziel, den Datensatz auf wenige nicht-korrelierte Klimavariablen zu beschränken, welche die Hauptgradienten des Klimas in Deutschland repräsentierten. Zudem sollten diese Klimavariablen einfach zu interpretieren sein.

Im ersten Schritt wurden 76 Klimavariablen des Klimadatenzentrums des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2022) extrahiert, diese umfassen:

- monatlicher Mittelwert der Tagestemperatur,
- Jahresmittelwert der Tagestemperatur,
- Temperaturdifferenz zwischen den Monatsmitteln von Juli und Januar,
- Temperaturdifferenz zwischen den saisonalen Mittelwerten von Sommer und Winter,
- monatlicher Mittelwert der täglichen Mindesttemperatur,
- monatlicher Mittelwert der täglichen Höchsttemperatur,
- monatliche Niederschlagssumme
- jährliche Gesamtniederschlagssumme
- monatliche akkumulierte potentielle Evapotranspiration über Gras
- monatliche Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm

Die Daten wurden über den Zeitraum 2000 bis 2019 gemittelt und auf das 100-ha-Hexagon-Raster übertragen.

Anschließend wurde eine Hauptkomponentenanalyse (PCA) mithilfe der R-Pakete FactoMineR version 2.4 (Le et al) und factoextra Version 10.0.7 (Kassambara ...) durchgeführt (Abbildung B1). Die ersten 3 Achsen der PCA erklären 90 % der Varianz der verrechneten Daten. Die Quadrate der Koordinaten der Klimavariablen auf den Hauptkomponenten (Achsen 1 bis 3) wurden als Ladungen der Klimavariablen interpretiert (Abbildung B2). Eine hohe Ladung entspricht einem hohen Beitrag der Variable für die Klimavariablen Varianz, die durch die entsprechende Hauptkomponente erklärt wird.

Die erste Hauptkomponente war positiv mit den Temperaturvariablen korreliert (Abbildung B1a). Die fünf Variablen mit dem höchsten Beitrag zur Varianz der ersten Hauptkomponente waren in abnehmender Reihenfolge: mittlere Temperatur im September, mittlere Jahrestemperatur, maximale Temperatur im September, mittlere Temperatur im Juli, mittlere Temperatur im August. Die Ladungen für diese Variablen lagen zwischen 0,88 und 0,93 (Abbildung B2a). Außerdem besteht eine hohe Korrelation zwischen diesen Variablen. Da viele Variablen fast gleichermaßen zur ersten Komponente beitragen, entschieden wir uns, die mittlere Jahrestemperatur als Eingangsvariable für die Clusteranalyse zu wählen. Auch wenn andere Variablen ebenso wichtig (oder sogar etwas wichtiger) waren, hat die mittlere Jahrestemperatur den Vorteil, dass sie leicht zu interpretieren und zu kommunizieren ist.

Die zweite Hauptkomponente ist assoziiert mit den Variablen "Temperatur zwischen den Monatsmitteln von Juli und Januar" und "Temperatur zwischen den saisonalen Mittelwerten von Sommer und Winter" (Abbildung B1a und Abbildung B2b). Beide Variablen drücken die Saisonalität der Temperatur aus und stehen im Zusammenhang atlantisch-kontinentalen Klimagradienten, der das mitteleuropäische Klima prägt. Da die Ladungen für die Juli-Januar-Temperaturdifferenz etwas höher waren als für die Sommer-Winter-Temperaturdifferenz (0,82 gegenüber 0,76), wurde erstere als Eingangsvariable für die Clusteranalyse ausgewählt.

Für die dritte Hauptkomponente (Abbildung B1b und Abbildung B2c) wies die „potenzielle Evapotranspiration im März“ die höchste Ladung auf (0,63) und „Niederschlag im März“ die zweithöchste (0,41). Beide Variablen sind nur schwach korreliert (Spearman's Korrelationskoeffizient =

0,31), aber beide repräsentieren einen Aspekt der Niederschlagsversorgung und des Wasserverbrauchs der Vegetation im Frühjahr. Die Evapotranspiration ist eine modellierte Variable¹, die viele Faktoren berücksichtigt einschließlich Temperatur und Niederschlag. Im Zusammenhang mit der Landwirtschaft ist diese Variable möglicherweise besser geeignet sein, den Wasserhaushalt von Kulturpflanzen zu beschreiben als der Niederschlag. Außerdem ist sie ein Zeiger für das Risiko von Frühjahrstrockenheit. Daher wurde die potenzielle Evapotranspiration im März als dritte Klimavariablen verwendet für die Clusteranalyse verwendet.

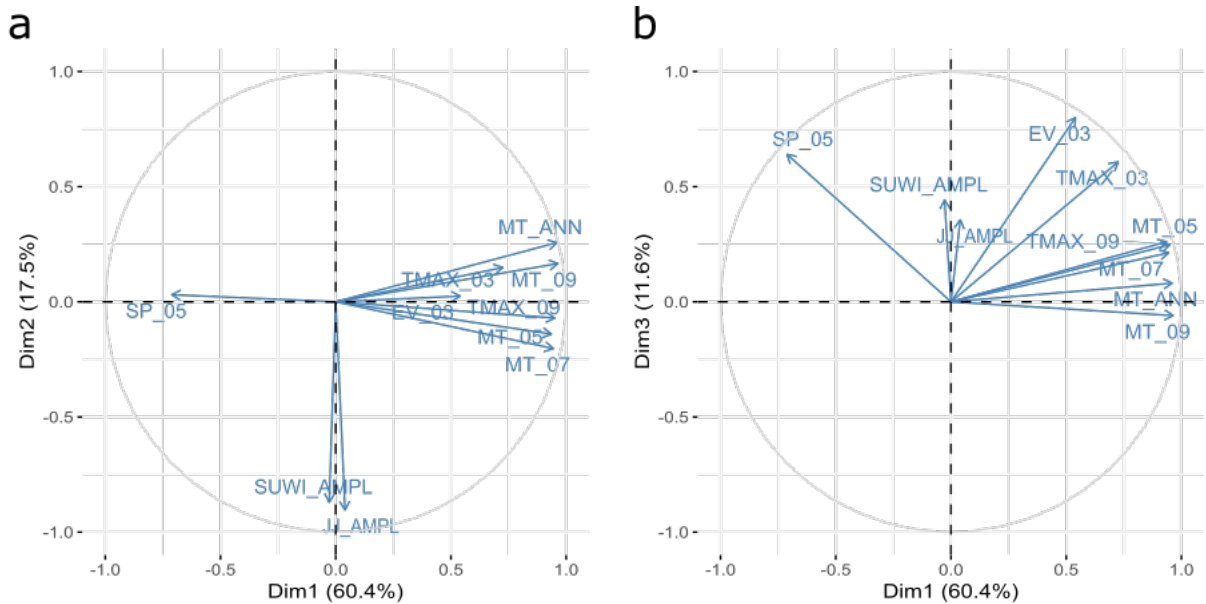


Abbildung B1: Hauptkomponentenanalyse der Klimavariablen. Darstellung der ersten und zweiten Hauptkomponente (a) sowie der ersten und dritten Hauptkomponente (b). Nur Klimavariablen mit den höchsten Ladungen sind dargestellt. EV_03: Potenzielle Evapotranspiration im März, JJ_AMPL: Temperaturdifferenz zwischen den Monatsmitteln von Juli und Januar, MT_ANN: Jahresmittelwert der Tagestemperatur, MT_05: mittlere Temperatur im Mai, MT_07: mittlere Temperatur im Juli, MT_09: mittlere Temperatur im September, SP_05: Niederschlagssumme im Mai, SUWI_AMPL: Temperaturdifferenz von saisonalen Mittelwerten von Sommer und Winter, TMAX_03: mittlere Höchsttemperatur im März, TMAX_09: mittlere Höchsttemperatur im September.

¹ Dokumentation, DWD: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/monthly/evapo_p/DESCRIPTION_gridsgermany_monthly_evapo_p_en.pdf

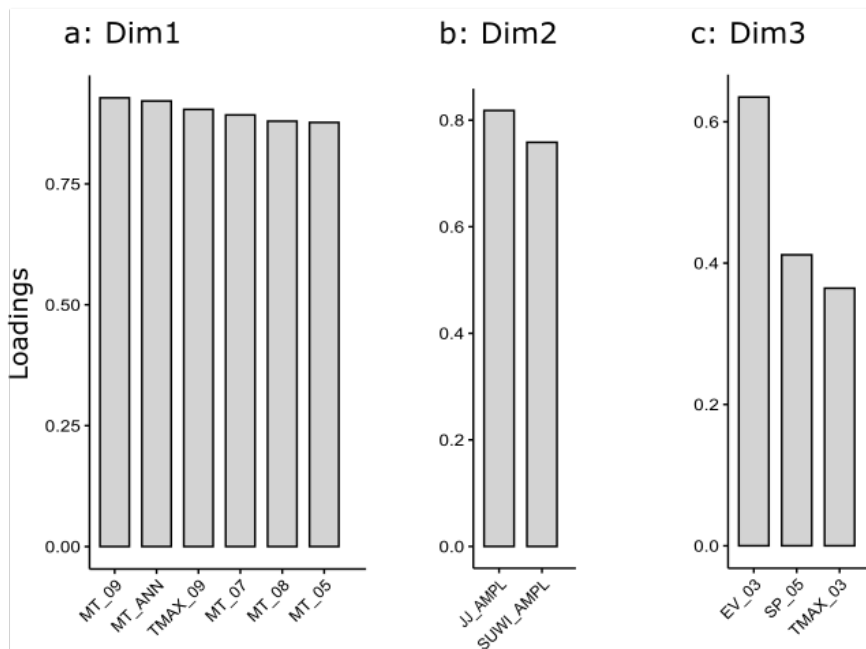


Abbildung B2: Ladungen der Klimavariablen auf die erste (a), zweite (b), und dritte (c) Hauptkomponente. Ladungen entsprechen den Quadraten der Koordinaten jeder Klimavariablen der entsprechenden Hauptkomponentenachse (Abb. B1). Hier sind nur die höchsten Ladungen für die Hauptkomponenten 1-3 dargestellt. EV_03: Potenzielle Evapotranspiration im März, JJ_AMPL: Temperaturdifferenz zwischen den Monatsmitteln von Juli und Januar, MT_ANN: Jahresmittelwert der Tagestemperatur, MT_05: mittlere Temperatur im Mai, MT_07: mittlere Temperatur im Juli, MT_09: mittlere Temperatur im September, SP_05: Niederschlagssumme im Mai, SUWI_AMPL: Temperaturdifferenz von saisonalen Mittelwerten von Sommer und Winter, TMAX_03: mittlere Höchsttemperatur im März, TMAX_09: mittlere Höchsttemperatur im September.

Anhang C: Adressierung der Workshop-Ergebnisse

Die vorliegende Version der Typisierung der Agrarräume basiert wesentlich auf den Vorschlägen und Anmerkungen von Expert*innen eines Workshops vom 23.02.2021. Auf Grundlage eines ersten Entwurfs hatten die Workshop-Teilnehmenden die Möglichkeit, durch Fragen und Kommentare Einfluss auf die weitere Ausgestaltung der Agrarraumtypisierung zu nehmen, wobei folgende Kriterien eine Rolle spielten: (1) Plausibilität der resultierenden funktionalen Zusammenhänge und geographischen Verteilung der Cluster, (2) Praktikabilität für die Anwendung im Rahmen eines Monitorings der Biodiversität in Agrarlandschaften und (3) Anwendbarkeit für die zielgerichtete Ausgestaltung von biodiversitätsfördernden Programmen in der Agrarlandschaft. In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Anmerkungen und Kritikpunkte aus dem Workshop adressiert und diskutiert. Zudem wird erläutert, inwiefern diese umgesetzt werden konnten oder was nach Meinung des Projektteams gegen eine Umsetzung sprach.

Die jeweiligen Anmerkungen der Expert*innen sind *kursiv* dargestellt. Die Replik des Projektteams erfolgt im jeweils nachfolgenden Absatz. Es ist zu beachten, dass das hier abgebildete Protokoll den Stand der Typisierung vom Februar 2021 entspricht.

Plausibilität und Repräsentanz der Agrarraumtypen (Teilgruppe A)

Anmerkung der Expert*innen: Die Unterschiede in Bezug auf die Ausgangslage innerhalb Bayerns seien nicht ausreichend abgebildet

Replik des Projektteams: Die Auflösung der Landschaften in BY konnte durch die Ergänzung weiterer Variablen verbessert werden. Im Detail weist die Agrarraumtypisierung für BY folgende Räume aus:

Das extensive Grünland-/Waldmosaik in Gebirgen (Typ G) in der Rhön, Bayerischen Wald und Alpenvorland, die intensive Milchviehhaltung (Typ D) im Allgäu, die ackerbau-dominierten Regionen (Typ A und B) in den Niederungen des Mains, der Donau, sowie nördlich von München, das Landwirtschaft-/Siedlungsmosaik (Typ H) an der Peripherie der größeren Städte. Das übrige Gebiet in BY wird im Wesentlichen durch den Typ E „Mosaik landwirtschaftlicher Nutzungen in Kombination mit der diffusen Verbreitung von walddominierten Hexagonen (Typ F und maskierte Waldgebiete) geprägt.

Im Vergleich z. B. zur Ökologischen Raumgliederung, berücksichtigt die Agrarraumtypisierung keine pedologischen Eigenschaften, was nicht nur in BY deutlich wird, sondern auch in anderen Bundesländern.

Die Unterschiede zwischen den Gebieten der damaligen DDR und den alten Ländern, gerade in Bezug auf die Unterschiede in den Schlaggrößen, sei in der jetzigen Form der Typisierung nicht sichtbar.

Durch das Einbeziehen der Variable mittleren Feldblockfläche konnten wir eine bessere Abgrenzung der Gebiete erreichen, die durch große Schläge im Ackerbau geprägt sind. Hohe Werte für diese Eingangsvariable sind kennzeichnend für den Agrarraumtyp A. Dieser Typ dominiert vor allem in Gebieten mit produktiven Böden, die durch die Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften (LPG) der DDR geprägt wurden (ST, BB, MV).

Insgesamt wirke der Nord-Osten (MV, BB) sehr zerstückelt, während der Süden (insb. Bayern) zu einheitlich wirkt

Vergleicht man die mosaikartige Verteilung der Typen A und B im Nordosten Deutschlands mit der regelmäßigen, einheitlichen Verteilung des Typ E in BY, erweckt das den Eindruck, dass die Landschaften in BY weniger heterogen sind als z. B. in MV und ST. Dieser Eindruck trägt, da der Typ E landschaftlich sehr divers ist (höchster Shannon Index). Während sich im Nordosten strukturarme Ackerbau-Landschaften mit etwas strukturreicheren Ackerbau-Landschaften auf Ebene der 100 ha-Hexagone abwechseln, herrscht in den süddeutschen Regionen mit gemischter Nutzung eine kleinräumigere Vielfalt von verschiedenen Landbedeckungsklassen vor, die im Mittel etwa gleichgroße Anteile Acker, Grünland und Wald einschließt.

Die Differenzierung nach Waldanteilen wird von einigen Teilnehmenden als zu dominant empfunden, vor allem da es doch um Biodiversität in Agrarlandschaften geht.

Wälder nehmen etwa ein Drittel der Fläche Deutschlands ein und sind damit prägender Bestandteil des Landschaftsbildes. Sie spielen außerdem eine starke Rolle für die Bereitstellung von Ökosystemleistungen und sind im Kontext von Landnutzungsänderungen sehr relevant, weil gerade an den Grenzen des Agrarlandes zum Wald eine hohe Dynamik herrscht (durch Landnutzungsänderungen, Trade-Offs zwischen Wald- und Offenlandnutzung). Auch vor dem Hintergrund der Artenvielfalt sind diese Bereiche von Bedeutung, da sie das Habitat für Ökoton-Bewohner darstellen.

Hinsichtlich der unzureichenden Differenzierung in Süddeutschland werden einige weitere Variablen empfohlen, z. B. weitere Klima-Daten nach Monaten differenziert, Flächenanteile Silomais, Tierbesatz, Bodentyp, Bodenqualität (Ackerzahl, Bodenwertzahl).

Die Berücksichtigung der vorgeschlagenen Variablen wurde geprüft. In Bezug auf das Klima wurden weitere Daten herangezogen und auch monatlich differenzierte Kennwerte untersucht. Es hat sich gezeigt, dass zwischen monatlichen, jahreszeitlichen und jährlichen Mitteln hohe Korrelationen bestehen. Da für die Cluster-Analyse aussagekräftige und nicht korrelierte Variablen herangezogen wurden, wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt, um wenige wesentliche, charakteristische und unabhängige Klimavariablen zu identifizieren. Bei der Interpretation der Klima-Verhältnisse in

den einzelnen Agrarraumtypen werden aber auch die nicht berücksichtigten, korrelierten Variablen mit einbezogen.

Weitere vorgeschlagene Variablen, wie Flächenanteile bestimmter Kulturen, Tierbesatzdichten oder Stickstoff-Deposition erfüllen nicht die Kriterien der bundesweiten, zuverlässigen Verfügbarkeit und der zeitlichen Stabilität. Die von uns genutzten Variablen zur Landbedeckung und Nutzungsintensität (variable Kosten) bilden die vorgeschlagenen eher dynamischen Variablen hinreichend gut ab. Eine explorative Prüfung dieser Annahme ist geplant.

Vorrangiges Ziel unserer Agrarraumtypisierung ist es, die Vielfalt der Landnutzung vor dem Hintergrund der abiotischen Verhältnisse und der sozioökonomischen Dynamiken darzustellen, nicht eine Standortkarte für die Landwirtschaft oder die natürliche Vegetation zu entwickeln. Daher halten wir auch aus inhaltlicher Sicht die Berücksichtigung von Bodeneigenschaften nicht für zwingend. Der Boden ist ein wichtiger Faktor für die landwirtschaftliche Produktion, wir gehen jedoch davon aus, dass sich die Unterschiede in Qualität und Produktivität in unseren Variablen für Landbedeckung und Nutzungsintensität widerspiegeln.

Auf die Berücksichtigung von Bodenvariablen wurde nach eingehender Prüfung auch aus methodischen Gründen verzichtet: Die vorrangigen Gründe liegen in der Art der zur Verfügung stehenden Daten und in der mangelnden flächendeckenden Verfügbarkeit. Für die ökologische Raumgliederung und andere europäische Gliederungen wurden Bodenarten und Bodentypen verwendet, welche Kategorien darstellen und deshalb inkompatibel mit der verwendeten Analyse-Methode sind, die nur numerische, kontinuierliche Daten verarbeiten kann.

Zur Differenzierung der Landschaftsstruktur wird die Verwendung z. B. der Schlaggröße empfohlen.

Zurzeit gibt es keine frei verfügbaren, bundesweiten Daten zur Schlaggröße. Als Proxy haben wir daher die mittlere Größe der flächenhaften ATKIS-Objekte mit landwirtschaftlicher Nutzung (= mittlere Feldblockgröße) herangezogen. Die Verteilung der mittleren Feldgrößen entspricht unseren Erwartungen.

Zur Integration der zeitlichen Dynamik sollten Daten verschiedener Zeitpunkte in der Retrospektive herangezogen werden.

Auf die Einbeziehung von Daten verschiedener Zeitpunkte wurde verzichtet, da die Untersuchung der Entwicklung von Agrarräumen in der Retrospektive nicht zu den Projektzielen gehört und im Rahmen des Projektes nicht leistbar ist.

Anwendbarkeit der Agrarraumtypen (Teilgruppe B)

Eine Anzahl von 10 bis 12 Clustern sei angemessen, da politisch und gesellschaftlich gut vermittelbar und für die Erreichung der Projektziele praktikabel.

Die hier präsentierte, überarbeitete und angepasste Agrarraumtypisierung umfasst 8 Typen und liegt damit etwas unter der vorgeschlagenen Zahl. Wir halten auch den Umfang von 8 Typen für gut vermittelbar und praktikabel.

Die Festlegung der Anzahl erfolgte nicht nur nach inhaltlichen und praktischen Kriterien, sondern auch nach methodisch-statistischen Kriterien. Wie der Rand-Index zeigt, ist für den gegebenen Satz an Variablen, die Lösung der Cluster-Analyse mit 8 Clustern gegenüber deutlich höheren k (>10) stabiler und besser reproduzierbar.

Um eine Aussage zur Anzahl von Agrarraumtypen auf Bundesebene treffen zu können, wird empfohlen, die bestehende Stichprobenkulisse, die bereits für das Monitoring häufiger Brutvögel (MhB) verwendet wird, stärker zu berücksichtigen.

Die Repräsentanz der existierenden Stichprobenkulissen (z. B. Probeflächen des Monitorings häufiger Brutvögel für die Verteilung der Agrarraumtypen wurde durch eine einfache Verschneidung geprüft (s. Abschnitt 0).

Eine Aggregation auf die Ebene von administrativen Grenzen wird befürwortet, Uneinigkeit besteht hinsichtlich der Ebene (Landkreise vs. Gemeinden).

Mit diesem Bericht wird neben der Hexagon-Ebene auch eine Aggregation auf Gemeinde-Ebene veröffentlicht. Wegen der großen landschaftlichen Heterogenität von Landkreisen und den beträchtlichen Größenunterschieden von Kreisen in Nord- und Süddeutschland sehen wir jedoch von einer Aggregation auf Kreis-Ebene ab.

Es wird hervorgehoben, dass die Agrarraumtypen auf Landesebene anwendbar sein müssen.

Mithilfe der Gemeinde-Karte der Agrarraumtypen ist eine Verwendung auf Landesebene gewährleistet.

Der Mehrwert der Agrarraumtypisierung vor dem Hintergrund der bestehenden ökologischen Raumgliederung wird diskutiert. Der Vorschlag, eine 2-stufige Raumgliederung mit der ÖRG als erster Ebene zu entwickeln, wird geäußert.

Die Agrarraumtypisierung ist die erste Raumgliederung Deutschlands, die neben abiotischen Parametern auch Variablen der menschlichen Landnutzung einbezieht. Damit bildet die Agrarraumtypisierung die Voraussetzung für die regional spezifische Ableitung von Zielbildern und Maßnahmen-Priorisierung für eine biodiversitätsfördernde Landwirtschaft.

Die Ökologische Raumgliederung des Bundesamtes für Naturschutz basiert auf abiotischen Umweltparametern und charakterisiert vor allem Standortfaktoren. Sie wurde mit dem Ziel erstellt, eine stratifizierte Stichprobenkulisse für Umwelt-Monitoring-Programme zu entwickeln. Dies spiegelt sich auch in der gewählten Auswahl der Eingangsvariablen und in der gewählten Cluster-Methode wider. Die unterschiedlichen Ziele beider Raumgliederungsvorhaben sowie die inkompatible Methodik haben uns veranlasst von einer Kombination beider Ansätze abzusehen.

