

Beitrag des EPLR Hessen zum Bodenschutz

Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022

Julia Scholz

5-Länder-Evaluation 8/2026



Finanziell unterstützt durch:

HESSEN



Hessisches Ministerium für
Landwirtschaft und Umwelt,
Weinbau, Forsten, Jagd und
Heimat



EUROPÄISCHE UNION

DOI-Nr.: 10.3220/253-2026-79

www.eler-evaluierung.de

Der nachfolgende Text wurde in geschlechtergerechter Sprache erstellt. Soweit geschlechtsneutrale Formulierungen nicht möglich sind, wird mit dem Doppelpunkt im Wort markiert, dass Frauen, Männer und weitere Geschlechtsidentitäten angesprochen sind. Feststehende Begriffe aus Richtlinien (RL) und anderen Rechtstexten bleiben unverändert.

entera Umweltplanung & IT

M. Sc. Julia Scholz

Fischerstraße 3, 30167 Hannover

Tel.: +49(0)511 16789-18

E-Mail: scholz@entera.de

Hannover, April 2026



Umweltplanung & IT

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Kartenverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
Glossar	VIII
0 Zusammenfassung und Summary	1
Zusammenfassung	1
Summary	2
1 Einleitung	4
1.1 Bewertungsauftrag	4
1.2 Aufbau des Berichtes	6
2 Relevanz der Förderung	6
2.1 Aktualisierte Ausgangslage und Handlungsbedarf	7
2.1.1 Erosionsgefährdung	7
2.1.2 Kohlenstoffspeicherung im Boden	9
2.1.3 Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe im Wald	12
2.2 Eignung des ELER zur Problemlösung	13
2.3 Kontext der Förderung	15
3 Relevante Maßnahmen und Umsetzung	17
3.1 Zielsetzungen	17
3.2 Geplante Outputs der Maßnahmen	17
3.3 Geförderte Maßnahmen und deren Interventionslogik	18
3.3.1 Geförderte Maßnahmen	18
3.3.2 Wirkungspfade der relevanten Fördermaßnahmen im Überblick	20
3.4 Darstellung des Outputs der Maßnahmen	23
4 Daten und Methoden	24
4.1 Untersuchungsdesign	24
4.2 Daten	26
4.3 Wirkungsanalyse und -Bewertung	27
4.3.1 Mitnahmen, Wirkungsdauer und Bewertungsmaßstäbe für Bewertungskriterien	27
4.3.2 Methodik Wassererosionsschutz	29
4.3.3 Methodik Kohlenstoffspeicherung im Boden	31
5 Wirkungen und Wirksamkeit	33
5.1 Wirkpotenzial Wassererosionsschutz	33
5.2 Wirkpotenzial Kohlenstoffspeicherung im Boden	34
5.3 Wirkpotenzial vereinfachte Bodenbewirtschaftung	34
5.4 Wirkungen der Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzzielen	35

5.4.1	Flurneuordnung	35
5.4.2	Investitionen in kleine Infrastrukturen, erneuerbare Energien und Energieeinsparungen	37
5.4.3	Bodenschutzkalkung	38
5.4.4	Vielfältige Kulturen im Ackerbau	41
5.4.5	Ökologischer Landbau	48
5.4.6	Ausgleichszulage	53
5.5	Wirkungen der Maßnahmen ohne programmierte Bodenschutzziele: Europäische Innovationspartnerschaften	55
5.6	Kohärenz und Synergie	57
5.7	Gesamtbetrachtung der bodenschutzrelevanten Maßnahmen	58
6	Kosten-Wirksamkeit (Effizienz)	63
6.1	Implementations- und Gesamtkosten	63
6.2	Vermiedener Bodenabtrag durch Wassererosion	64
6.3	Kohlenstoffspeicherung im Boden	65
6.4	Fazit	66
7	Beitrag zur Beantwortung der Bewertungsfragen	66
7.1	Zusammenfassende Bewertung des Programms zum Bodenschutz	66
7.2	Zusammenfassende Bewertung aus Bodenschutzsicht zum Beitrag des Programms zur nachhaltigen Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen	67
8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	68
	Literaturverzeichnis	71
	Anhang	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	ELER-spezifische Bewertungsanforderungen des CMEF für den Bodenschutz	5
Abbildung 2:	THG-Emissionen der Ackerflächen in Hessen im Zeitverlauf	10
Abbildung 3:	Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume) aller Altersklassen in Prozent in Hessen	12
Abbildung 4:	Untersuchungsdesign zur Analyse der Bodenschutzwirkung und Beurteilung der Wirksamkeit	24
Abbildung 5:	Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2016 und 2022 aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne VK-Förderung (Flächenanteile in Prozent)	44
Abbildung 6:	Vielfältige Kulturen – Veränderung der Anbauanteile der teilnehmenden und nicht-teilnehmenden Ökobetriebe und konventionellen Betrieben von 2015 zu 2020	45
Abbildung 7:	Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2016 (vor und nach Einstieg in die VK- Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie ÖKO- und VK-Teilnahme (Flächenanteile in Prozent)	47
Abbildung 8:	DiD-Vergleich, vereinfachte Humusbilanzen der Betriebe nach Bewirtschaftungsart für die Jahre 2016 und 2022 mit und ohne ÖKO-Förderung	52
Abbildung 9:	Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2016 (vor Einstieg in die Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne ÖKO (Flächenanteile in Prozent)	53

Kartenverzeichnis

Karte 1:	Karte der natürlichen Wassererosionsgefährdung in Hessen	7
----------	--	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einschätzung des Handlungsbedarfs zum Wassererosionsschutz	8
Tabelle 2:	Einstufung der Ackerfläche nach dem Grad der Wassererosionsgefährdung im Jahr 2021 in Hessen	9
Tabelle 3:	Kontextindikator C.41 Soil organic matter in arable land in Deutschland	11
Tabelle 4:	Einschätzung des Handlungsbedarfs zur Kohlenstoffspeicherung im Boden	12
Tabelle 5:	Einschätzung des Handlungsbedarfs zur Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe	13
Tabelle 6:	Eignung der ELER-VO zur Lösung der Problemlagen und ihre Implementation im EPLR	15
Tabelle 7:	Bedeutung des EPLR im Verhältnis zum Kontext	16
Tabelle 8:	Maßnahmen mit und ohne Bodenschutzziel	17
Tabelle 9:	Geplante Ziele und Mittel der Maßnahmen mit und ohne programmiertes Bodenschutzziel	18
Tabelle 10:	Zuordnung der relevanten Maßnahmen zu Wirkungspfaden und damit verbundenen Wirkungsfaktoren	22
Tabelle 11:	Output und Finanzen der Maßnahmen mit und ohne Bodenschutzziel	23
Tabelle 12:	Zuordnung der Indikatoren und Messgrößen zu den Bewertungskriterien	26
Tabelle 13:	Mitnahmen nach Kategorien	27
Tabelle 14:	Bewertungsskala für quantifizierbare Maßnahmenwirkungen	29
Tabelle 15:	Wassererosionsgefährdungsstufen und deren potenzieller Bodenabtrag	30
Tabelle 16:	Merkmale der Verfahrensgebiete in der Flurneuordnung	36
Tabelle 17:	Merkmale der investiven Vorhaben in kleine Infrastrukturen	38
Tabelle 18:	Ist- und Soll-Output der Bodenschutzkalkung (TM 8.5) 2015 bis 2022	39
Tabelle 19:	Förderbestimmungen Vielfältige Kulturen im Ackerbau	41
Tabelle 20:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2016 und 2022, Unterscheidung für Betriebe mit und ohne VK-Förderung	43
Tabelle 21:	Teilnehmende an Vielfältige Kulturen im Jahr 2020 – Charakterisierung anhand von Betriebskennziffern	45
Tabelle 22:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2016 und 2022, Unterscheidung mit und ohne Förderung von VK und ÖKO	46
Tabelle 23:	Potenziell vermiedener mittlerer Bodenabtrag auf ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen	50
Tabelle 24:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2016 und 2022, Unterscheidung konventionell und ÖKO	51
Tabelle 25:	Merkmale der ausgewählten bodenschutzrelevanten EIP-Agri Vorhaben	56

Tabelle 26:	Zusammenfassung der betrachteten bodenschutzrelevanten Maßnahmen	59
Tabelle 27:	Übersicht der Programmwirkung auf die bodenschutzrelevanten Ergebnisindikatoren	61
Tabelle 28:	Übersicht der Programmwirkung auf die bodenschutzrelevanten Wirkungsindikatoren	62
Tabelle 29:	Implementations- und Gesamtkosten von flächenbezogenen Maßnahmen mit Bodenschutzziel	63
Tabelle 30:	Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Vermeidung von Wassererosion	65
Tabelle 31:	Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Kohlenstoffspeicherung im Boden	65

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
AF	Ackerfläche
AfB	Ämter für Bodenmanagement
AL	Ackerland
Äq.	Äquivalente
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
CC	Cross Compliance
CMEF	common monitoring and evaluation framework
C _{org}	Organischer Kohlenstoff
C _{sum}	summierbare C-Faktoren
DiD	Difference-in-Difference
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
dt	Dezitonnen
DüV	Düngeverordnung
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EGFL	Europäischer Garantiefonds für die Landwirtschaft
EIP	Europäische Innovationspartnerschaften
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
E _{nat} -Stufen	Erosionsstufen nach DIN 19708
EPLR	Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014 - 2020
EU	Europäische Union
EURI	Mittel des Aufbauinstrumentes NextGenerationEU zur Abmilderung der Corona-Folgen
FP	Förderperiode
GAEC	standards on good agricultural and environmental condition of land
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
gfP	Gute fachliche Praxis
GLÖZ	Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand
ha	Hektar
HALM	Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflege-Maßnahmen
Häq	Humusäquivalente
HE	Hessen
IK	Implementationskosten
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
JRC	Joint Research Centre
LULUCF	Land use, land-use change and forestry
Max	Maximum
Min	Minimum
Mio.	Million
Mt	Megatonne

Abkürzung	Bedeutung
OB	Oberboden
OG	Operationelle Gruppen
ÖKO	Ökolandbau
ÖVF	Ökologische Vorrangflächen
PSM	Pflanzenschutzmittel
RL	Richtlinie
RDP	Rural Development Programme
SOC	soil organic carbon
SPB	Schwerpunktbereich
t	Tonnen
THG	Treibhausgas(e)
USLE	Universal Soil Loss Equation
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Glossar

Begriff	Definition
ABAG	Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (kurz ABAG) wird eingesetzt, um den langjährigen mittleren flächigen Abtrag für Einzelschläge in Tonnen pro Hektar (ha) zu berechnen. Er setzt sich aus sechs verschiedenen Faktoren zusammen, die sich an den Gegebenheiten vor Ort orientieren. Die ABAG ist das Vorgehen zur Bestimmung des durch Wassererosion ausgelösten Bodenabtrags nach DIN 19708.
Kosten-Wirksamkeit (<i>efficiency</i>)	Die Kosten-Wirksamkeit setzt die für die Förderung aufgewendeten Mittel ins Verhältnis zu den erreichten Wirkungen.
Wirksamkeit (<i>effectivness</i>)	Die Wirksamkeit setzt die erreichte Wirkung ins Verhältnis zu gesetzten Zielen. Die Wirksamkeit kann auch als Grad der Zielerreichung interpretiert werden.
Wirkungen (<i>impacts</i>)	Die Wirkung wird auf zwei verschiedenen Ebenen erfasst. Die Wirkung einer (Teil-)Maßnahme ist die durchschnittliche Wirkung aller unter dieser (Teil-)Maßnahme geförderten Flächen bzw. Vorhaben abzüglich vollständiger Mitnahmen. Die Wirkung auf SPB- oder TF-Ebene entspricht der Gesamtwirkung aller relevanten Maßnahmen des Programms (z. B. reduzierter Bodenabtrag/Hektar bezogen auf die AL des Programmgebietes). Die Wirkung wird anhand des „Impact Indicators“ quantifiziert.
Zweckdienlichkeit (<i>relevance</i>)	Die Zweckdienlichkeit bzw. Relevanz wird eingeordnet anhand der Kriterien Handlungsbedarf im Programmgebiet, Eignung der ELER-VO zur Problemlösung sowie Kontext der Förderung.

0 Zusammenfassung und Summary

Zusammenfassung

In diesem Bericht werden die Wirkungen des Entwicklungsplanes für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022, auf den Bodenschutz thematisiert. Untersucht werden zum einen die Wirkung der mit Bodenschutzzielen (Schwerpunktbereich Bodenschutz 4C) programmierten Maßnahmen zur Verhinderung der Bodenerosion, Verbesserung der Bodenbewirtschaftung sowie Beiträge zur Kohlenstoffspeicherung im Boden und, zum anderen die Wirkung des Programms, durch weitere bodenschutzrelevante Maßnahme ohne ein explizites Bodenschutzziel.

Für die Analyse der Ressourcenschutzwirkungen wurden für die Flächenmaßnahmen (Vielfältige Kulturen im Ackerbau, Ökolandbau, Ausgleichszulage) die Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems ausgewertet. Darüber hinaus wurden Daten des Landes zu einzelnen Maßnahmen (Bodenschutzkalkung, Flurneuordnung, kleine Infrastrukturen), der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (Europäische Innovationspartnerschaften), aus Literaturreviews und des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten herangezogen. Methodisch werden Wirkungspfadanalysen, Kalkulationen zur Allgemeinen Bodenabtragsgleichung sowie Mit-Ohne-/Vorher-Nachher-Vergleichen durchgeführt. Für die Analyse und Bewertung der Wirkungen zum Erosionsschutz, zur Kohlenstoffspeicherung im Boden sowie zur vereinfachten Bodenbewirtschaftung wurden maßnahmenbezogene Bewertungskriterien, CMEF-Indikatoren sowie zusätzliche Indikatoren verwendet.

Im Hinblick auf das Ziel einer Senkung des Bodenabtrags durch **Wassererosion** konnten 13,6 % der Flächen in der Wassererosionskulisse mit sehr hoher Erosionsgefährdung durch die Flächenmaßnahme des **Ökologischen Landbaus** erreicht werden. Der potenzielle Bodenabtrag, welcher insgesamt durch das Programm vermieden wurde, beläuft sich auf über 0,6 Mio. t/a. In Bezug auf die maximal vermiedenen Tonnen pro Hektar Förderfläche wurden zwischen rund 21 und 30 t/a verhindert. Der Ökologische Landbau zeichnet sich zum einen durch eine hohe Bodenbedeckung und zum anderen durch große Anteile in der Wassererosionskulisse aus. Durch das Programm konnten potenziell 11.179 t **Kohlenstoff in den Boden** eingetragen bzw. potenziell gespeichert werden. Dabei wurde der Großteil des organischen Kohlenstoffs durch den Ökolandbau (68 %) und der kleinere Anteil (32 %) von der Förderung Vielfältiger Kulturen im Ackerbau eingebracht. Im Gegensatz zur konventionellen Bewirtschaftung bzw. zur Situation ohne Förderung wurde so mehr Kohlenstoff in den Boden eintragen, was sich in einer deutlich positiveren bzw. stärker humusmehrenden, vereinfachten Humusbilanz (Netto zwischen rund 60 bei den Vielfältigen Kulturen und 250 Humusäquivalenten pro ha/a beim Ökolandbau) zeigte. Die **investiven Maßnahmen sowie die Europäischen Innovationspartnerschaften (EIP)** hatten größtenteils eine gering positive Wirkung auf die betrachteten Bewertungskriterien. Dies liegt zum einen an der nicht vorhandenen Bodenschutzprogrammierung der Maßnahmen und der dadurch fehlenden Adressierung der Wirkungsfaktoren wie z. B. Lenkung der Flächen auf die relevanten Kulissen (Erosionsschutz) und zum anderen an den langen und z. T. indirekten Wirkungsketten der geförderten Vorhaben. Diese EIP-Vorhaben zeichnen sich durch einen Modellcharakter aus, d. h. der Bodenschutz gelangt erst dann den Flächen zur Anwendung, wenn sie sich in der Praxis etablieren. Die **Bodenschutzkalkung** hatte auf einer Fläche von über 15.000 ha langfristige positive Wirkung auf die Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe, was sich wiederum positiv auf die Bodenbewirtschaftung der Forstflächen auswirkt.

Die **Wirksamkeit** des Programms in Bezug auf den Wassererosionsschutz wurde durch den Ökologischen Landbau und die Vielfältigen Kulturen im Ackerbau nur mit geringen Anteilen der erosionsgefährdeten Gebiete erreicht. Das ist darin begründet, dass keine räumliche Steuerung der Maßnahmen in gefährdete Gebiete erfolgt und die Reichweite der Maßnahmen zu gering ist. Die Wirkung der gesamten bodenschutzrelevanten

Maßnahmen auf den Basistrend ist für den Bodenschutz und die Kohlenstoffspeicherung als positiv, aber gering einzustufen.

Untersuchungen zur **Kosten-Wirksamkeit** (Effizienz) von Maßnahmen mit Bodenschutzziel (Flurneuordnung, Kleine Infrastrukturen, Bodenschutzkalkung, Vielfältige Kulturen, Ökolandbau, Ausgleichszulage) zeigen, dass bei den Implementations- und Gesamtkosten von flächenbezogenen Maßnahmen mit Bodenschutzziel die Vielfältigen Kulturen im Ackerbau die geringsten Kosten aufweisen. In Bezug auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden weisen die Ökobetriebe im Vergleich zu den Betrieben mit Förderung Vielfältiger Kulturen im Ackerbau und auch die Kombination aus beiden Förderungen eine deutlich bessere Effizienz in Bezug auf die potenziell gebundene Tonne Kohlenstoff im Boden auf.

Die **Empfehlungen** reichen von der Anhebung bodenschutzrelevanter GLÖZ-Standards, über das Anbieten weiterer bodenbezogener Maßnahmen bis hin zu Möglichkeiten zur Erweiterung der räumlichen Reichweite. Die Vorschläge beinhalten auch Empfehlungen für den Umbau des Maßnahmenangebots hinsichtlich der Lenkung auf erosionsgefährdete Flächen.

Summary

This report examines the effects of the *Entwicklungsplanes für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022* (Hesse Rural Development Plan [RDP] 2014 to 2020, extended to 2022), on soil protection. It examines, on the one hand, the impact of measures programmed with soil protection objectives (Focus Area soil protection 4C) to prevent soil erosion, improve soil management and contribute to carbon storage in the soil and, on the other hand, the impact of the programme through further soil protection-related measures without an explicit soil protection objective.

To analyse the resource conservation effects, data from the Integrated Administration and Control System was evaluated for land measures (diverse crops in arable farming, organic farming, payments to farmers in areas facing natural constraints). In addition, data from the federal state on individual measures (soil conservation liming in forestry, land consolidation, small-scale infrastructure), the German Networking Agency for Rural Areas (European Innovation Partnerships, EIP), literature reviews and the *Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten* (Association of German Agricultural Research Institutes) were used. Methodologically, impact pathway analyses, calculations for the Universal Soil Loss Equation and with/without/before/after comparisons were carried out. Measure-related evaluation criteria, CMEF indicators and additional indicators were used to analyse and evaluate the effects on erosion control, carbon storage in the soil and simplified soil management.

With regard to the goal of reducing soil loss due to **water erosion**, 13.6 % of the areas at high risk of water erosion (water erosion scenario) was achieved through the area-based measure of **organic farming**. The potential soil erosion that was avoided overall by the programme amounts to over 0.6 million tonnes per annum. In terms of the maximum tonnes avoided per hectare of subsidised area, between around 21 and 30 t/yr were prevented. Organic farming is characterised on the one hand by high soil cover and on the other by large proportions in the water erosion scenario. The programme potentially enabled 11,179 tonnes of **carbon to be added to the soil** or potentially stored. The majority of the organic carbon was added through organic farming (68 %) and the smaller proportion (32 %) through the promotion of diverse crops in arable farming. In contrast to conventional farming or the situation without subsidies, more carbon was thus added to the soil, which was reflected in a significantly more positive or stronger humus-increasing, simplified humus balance (net between around 60 for diverse crops and 250 humus equivalents/ha/yr for organic farming). The **investment measures and the EIP** had a largely positive effect on the evaluation criteria considered. This is due, on the one hand, to the lack of soil protection programming in the measures and the resulting failure to address impact factors such as directing land to the relevant areas (erosion control) and, on the other hand, to the long and, in some cases, indirect chains of effects of the projects funded. These EIP projects are characterised by their model nature, i. e. soil protection is only

applied to the land once they have been established in practice. **Soil conservation liming in forestry** had a long-term positive effect on the stabilisation of nutrient cycles over an area of more than 15,000 hectares, which in turn has a positive effect on soil management in forest areas.

The programme's **effectiveness** in terms of water erosion protection was achieved through organic farming and diverse crops in arable farming, but only in a small proportion of the areas at risk of erosion. This is because there is no spatial control of the measures in endangered areas and the scope of the measures is too limited. The effect of all soil protection measures on the baseline trend can be classified as positive but minor for soil protection and carbon storage.

Studies on the **cost-effectiveness** (efficiency) of measures aimed at soil protection (land consolidation, small-scale infrastructure, soil conservation liming in forestry, diverse crops, organic farming, payments to farmers in areas facing natural constraints) show that, in terms of the implementation and total costs of area-based measures aimed at soil protection, diverse crops in arable farming have the lowest costs. In terms of carbon storage in the soil, organic farms are significantly more efficient in terms of tonnes of carbon stored in the soil than farms that receive subsidies for diverse crops in arable farming and also those that receive a combination of both subsidies.

The **recommendations** range from raising soil protection-related good agricultural and environmental conditions (GAEC) standards and offering additional soil-related measures to possibilities for expanding the geographical scope. The proposals also include recommendations for restructuring the range of measures with regard to targeting areas at risk of erosion.

1 Einleitung

Die ländliche Entwicklungspolitik ist die zweite Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EU). Mit dem EPLR Hessen – Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022 wird die ländliche Entwicklungspolitik der GAP in Hessen umgesetzt.¹

Die GAP soll u. a. einen Beitrag zur Gewährleistung der nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und des Klimaschutzes leisten. Dabei spielt auch der Bodenschutz eine Rolle. Entsprechend wird der Bodenschutz auch in den gemeinsamen Bewertungsfragen thematisiert (vgl. Abbildung 1).

Die Bewertungsfragen wurden – basierend auf dem damaligen Stand der Programmumsetzung – in den Jährlichen Durchführungsberichten für 2016 (HMUKLV, 2017) und 2018 (HMUKLV, 2019) beantwortet und müssen zur Ex-post-Bewertung 2026 erneut beantwortet werden. Dafür schafft der vorliegende Bericht die Grundlage.

In diesem Bericht werden also die Bodenschutzwirkungen des EPLR Hessen ermittelt und bewertet. Die Wirkungsevaluation des EPLR Hessen baut auf den Umsetzungs- und Wirkungsanalysen der Fördermaßnahmen auf, die einen Wirkungsbeitrag zu den oben genannten Fragestellungen leisten, unabhängig davon, ob sie mit einem expliziten Bodenschutzziel programmiert wurden.

1.1 Bewertungsauftrag

Aufgabe der Ex-post-Bewertung ist es, die Evaluierungskriterien Wirkungen (*impacts*), Wirksamkeit (*effectiveness*), Kosten-Wirksamkeit (*efficiency*) sowie die Relevanz bzw. Zweckdienlichkeit (*relevance*) der Politik zu überprüfen (Art. 57, VO (EU) Nr. 1303/2013; Art. 68, VO (EU) Nr. 1305/2013). Eine Definition der Begriffe ist dem Glossar zu entnehmen. Unter Wirkungen werden alle mittel- bis langfristigen Veränderungen gefasst, die infolge der Intervention entstanden sind. Die Wirksamkeit setzt die erreichte Wirkung ins Verhältnis zu gesetzten Zielen. Die Kosten-Wirksamkeit setzt die für die Förderung aufgewendeten Mittel ins Verhältnis zu den erreichten Wirkungen. So soll ermittelt werden, ob mit denselben Mitteln ein größerer Umfang an Wirkungen hätte erzielt werden können oder ob dieselben Wirkungen kostengünstiger zu erreichen gewesen wären (EU-KOM, 2021).

Spezifische Anforderungen für die Evaluierung des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) sind im Common Monitoring Evaluation Framework (CMEF) festgelegt (Anhang IV und V, DVO (EU) Nr. 808/2014). Der CMEF enthält 30 Gemeinsame Bewertungsfragen, die unter Nutzung EU-weit einheitlicher Output-, Ergebnis- und Wirkungsindikatoren zu beantworten sind (EU-COM, 2018a).

Die Bewertungsanforderungen des CMEF für diesen Ziel- und Wirkungsbereich sind in Abbildung 1 dargestellt.

¹ Die Förderperiode 2014 bis 2020 umfasst die Förderjahre 2015 bis 2022, da die Förderperiode ein Jahr verspätet begann und um zwei Jahre verlängert wurde. Auszahlungen erfolgen bis zum Jahr 2025.

Abbildung 1: ELER-spezifische Bewertungsanforderungen des CMEF für den Bodenschutz

Bewertung des EPLR in Bezug auf die Schwerpunktbereichsziele (Focus area-related evaluation questions)						
Ziel der Priorität 4	Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der mit der Land- und Forstwirtschaft verbundenen Ökosysteme Schwerpunktbereich 4C: Verhinderung der Bodenerosion und Verbesserung der Bodenbewirtschaftung					
Frage 10	In welchem Umfang wurden durch die Interventionen im Rahmen des Programms zur Entwicklung des ländlichen Raums die Verhinderung der Bodenerosion und die Verbesserung der Bodenbewirtschaftung unterstützt?					
Beurteilungskriterien	Die neuen Schlageinteilungen ermöglichen eine stärker bodenschutzorientierte Bewirtschaftung.	Es wurden Vorhaben mit Wirkungen auf den Bodenschutz umgesetzt.	Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe.	Der Bodenschutz auf Flächen mit Verwaltungsverträgen ist wiederhergestellt, geschützt und verbessert worden.	Die Bodenerosion wurde verhindert.	Die Bodenbewirtschaftung wurde verbessert.
Gemeinsame Ergebnisindikatoren	R10: Prozentsatz der landwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten (Schwerpunktbereich 4C)			R11: Prozentsatz der forstwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten (Schwerpunktbereich 4C)		
Bewertung des EPLR in Bezug auf die EU-Ziele (Evaluation questions related to EU level objectives)						
EU-2020-Ziele	EU-2020-Biodiversitätsstrategie: Aufhalten des Verlustes an biologischer Vielfalt und der Verschlechterung der Ökosystemleistungen in der EU und deren weitestmögliche Wiederherstellung [...]					
GAP-Ziele	Gewährleistung der nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und Klimaschutz					
Frage 28 (GAP-Ziele)	In welchem Umfang hat das Programm zur Entwicklung des ländlichen Raums zum Ziel der GAP beigetragen, die <u>nachhaltige Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen</u> und Klimaschutzmaßnahmen zu gewährleisten?					
Beurteilungskriterien	Die Teilmaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei.			Die Teilmaßnahmen tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei.		
Gemeinsame Wirkungsindikatoren	I.12 Gehalt des Bodens an organischer Materie im Ackerland			I.13 Wasserbedingte Bodenerosion		

Quelle: Eigene Darstellung nach EU-COM (2018a), Bewertungskriterien vgl. Feinkonzept (Pufahl et al., 2023).
Verwaltungsverträge bezeichnen Bewirtschaftungsverträge der Flächenmaßnahmen, zwischen dem Antragstellenden und der geldgebenden Stelle, über die Laufzeit, Fläche und Art der geförderten Maßnahme.

Oberer Teil der Abbildung 1:

- Der Ausgangspunkt der Bewertung sind die Maßnahmen des Schwerpunktbereichs (SPB) 4C, der auf die „Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der mit der Land- und Forstwirtschaft verbundenen Ökosysteme mit Schwerpunkt [...] auf die Verhinderung der Bodenerosion und Verbesserung der Bodenbewirtschaftung“ ausgerichtet ist (Art. 5 ELER-VO; VO (EU) Nr. 1305/2013).
- Durch Frage 10 werden die Umsetzung und Wirkungen der Maßnahmen bewertet, die ein programmiertes Ziel in Bezug auf den Bodenschutz (SPB 4C) haben. Eine Zuordnung von Maßnahmen zu prioritären (P) oder sekundären (x) Zielen erfolgte im Programmplanungsdokument und wird in Kapitel 3 „Relevante Maßnahmen und Umsetzung“ genauer beschrieben. Die Maßnahmen mit programmierten SPB 4C-Ziel werden unter Berücksichtigung der gemeinsamen Ergebnisindikatoren R10 und R11 zur Bewertung herangezogen.

Unterer Teil der Abbildung 1:

- Die Bewertungsfrage 28, Beitrag zur Gewährleistung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und Klimaschutzmaßnahmen, richtet das Augenmerk auf die Wirkungen des Programms insgesamt und fragt nach seiner Wirksamkeit hinsichtlich der Erreichung der Ziele der EU-

Biodiversitätsstrategie und der Umweltziele der GAP. In diesem Bericht wird nur die Ressource Boden betrachtet, im Hinblick auf die Verringerung der Bodenerosion (Wassererosion) und die Stabilisierung des Humushaushalts bzw. auf den Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden. Die Klimaschutzwirkung des Programms, z. B. durch die Kohlenstoffspeicherung im Boden, werden im Bericht von Roggendorf und Schwarze (2026) behandelt (Bewertungsfrage 24). Die Wirkungen des Programms auf den qualitativen Wasserschutz (SPB 4B) werden im Bericht von Schwenger (2026) untersucht (Bewertungsfrage 28). Und in diesem Bericht nicht mehr aufgegriffen.

- Die bodenschutzbezogenen Wirkungen des Programms sind durch die Wirkungsindikatoren I.12 Gehalt des Bodens an organischer Materie im Ackerland und I.13 Wasserbedingte Bodenerosion zu quantifizieren. Dabei werden, zusätzlich zu den Maßnahmen mit Ziel im SPB 4C, alle Maßnahmen des Programms mit bodenschutzrelevanten Wirkungen berücksichtigt.

1.2 Aufbau des Berichtes

Kapitel 2 beleuchtet die Relevanz der ELER-Förderung für den Bodenschutz und ordnet diese vor dem Hintergrund weiterer Instrumente zum Bodenschutz sowie dem Handlungsbedarf ein. Kapitel 3 stellt die bodenschutzrelevanten Maßnahmen des EPLR Hessen dar, die in der Wirkungsanalyse berücksichtigt werden. Die verwendeten Daten und Methoden für die Analyse der Wirkungen und der Kosten-Wirksamkeit sind in Kapitel 4 dargestellt.

In Kapitel 5 werden die bodenschutzrelevanten Wirkungen des EPLR Hessen indikatorbasiert ermittelt. Auf dieser Basis werden deren Wirksamkeit im Hinblick auf die Bodenschutzziele bewertet und die Bewertungsfragen beantwortet (vgl. Abbildung 1). Bei der Bewertung der Wirksamkeit wird die erreichte Wirkung ins Verhältnis zu vorgegebenen Zielen gesetzt (Kapitel 5.7). Kapitel 6 wirft einen Blick auf die Kosten-Wirksamkeit der Förderung und vergleicht verschiedene Maßnahmen mit Bodenschutzziel hinsichtlich der Kosten (Implementationskosten und Fördermittel) und der erreichten Wirkungen.

Die Bewertungsfragen 10 und 28 werden in Kapitel 7 beantwortet. Kapitel 8 kondensiert die empirischen Befunde zur Relevanz, Wirkung, Wirksamkeit und Kosten-Wirksamkeit und endet mit Empfehlungen für die Ausgestaltung einer zukünftigen Förderpolitik.

Anmerkung: Entsprechend der VO (EU) Nr. 1305/2013 werden die Maßnahmen folgendermaßen unterschieden: Die oberste Ebene sind die Maßnahmen wie z. B. AUKM (M 10) und der Ökologische Landbau (M 11). Im EPLR Hessen wurde unter M 10 die Teilmaßnahme 10.1 Zahlungen von AUKM angeboten, für die in Hessen lediglich die Vorhabenart Vielfältige Kulturen im Ackerbau zur Förderung mit EU-Mitteln freisteht. Die anderen AUKM werden in Hessen mit nationalen Mitteln finanziert und sind damit nicht Gegenstand dieser Betrachtung. M 11 wurde mit den zwei Teilmaßnahmen Zahlungen für die Einführung (11.1) sowie Zahlungen für die Beibehaltung des Ökologischen Landbaus (11.2) angeboten. Da sich die relevante Umsetzungsebene somit einerseits auf Vorhabenarten und andererseits auf Teilmaßnahmen bezieht, wird im Zweifelsfall der übergreifende Begriff „Maßnahmen“ verwendet.

2 Relevanz der Förderung

Die aktualisierte Ausgangslage und der daraus resultierende Handlungsbedarf werden in Bezug auf die Wirkungsbereiche Erosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung im Boden sowie der Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe dargestellt.

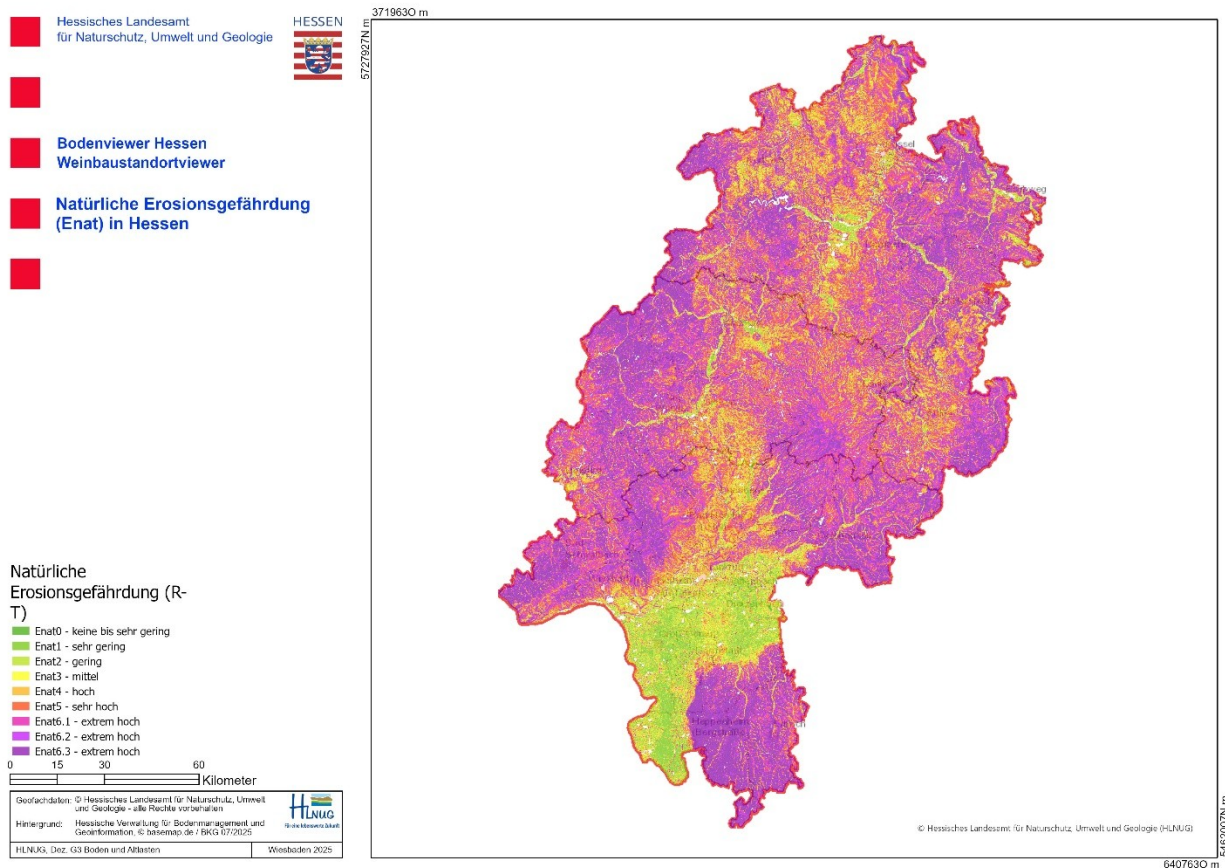
Ein weiteres wichtiges Bodenthemen ist der Schutz vor Bodenverdichtung durch landwirtschaftliche Tätigkeit (gemäß der guten fachlichen Praxis, § 17 BBodSchG). Dieses Thema wird durch den ELER nur randständig adressiert und hier daher nicht betrachtet.

2.1 Aktualisierte Ausgangslage und Handlungsbedarf

2.1.1 Erosionsgefährdung

In Teilen des Landes Hessen sind Flächen durch eine hohe Wassererosion gefährdet (vgl. u. a. dazu FZJ, 2012; HLNUG, 2023). Nach Auswertungen der Daten des HLNUG und von InVeKoS-Daten unterliegen rund 23 % der Ackerflächen einer sehr hohen bis extrem hohen Gefährdung durch Wassererosion (vgl. Karte 1).

Karte 1: Karte der natürlichen Wassererosionsgefährdung in Hessen



Quelle: HLNUG, 2023, 2025.

In Hessen sind vor allem mit Lössböden sowie die durch Buntsandstein geprägten Gebiete und dort besonders die Hanglagen von Wassererosion betroffen (Friedrich et al., 2006). Diese Flächen zeichnen sich durch Böden mit hohen Schluffanteilen aus, oder es handelt sich um Sandböden mit einem hohen Feinsandanteil (Honecker et al., 2022). Die erosionsanfälligen Böden befinden sich in lössgeprägten Gebieten im Rheingau, in der Wetterau, im Limburger Becken sowie in den Gebieten mit feinkörnig verwitterten Böden in den osthessischen Buntsandsteingebieten (Friedrich et al., 2006).

Winderosion spielt in Hessen eine eher untergeordnete Rolle, große dadurch verursachte Schäden treten nur lokal und zeitlich begrenzt auf (HLNUG, o.J.). Dieser Aspekt wird im weiteren Bericht nicht weiter thematisiert. Der **Handlungsbedarf** ist als hoch einzustufen, da es das Problem der Wassererosionsgefährdung in Hessen in sehr vielen Regionen gibt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Einschätzung des Handlungsbedarfs zum Wassererosionsschutz

Handlungsbedarf	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Es gibt einen geringen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld, z. B. weil kein Problem vorhanden ist.	
mittel	Es gibt keinen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld. Ein Problem ist zwar vorhanden, jedoch in deutlich abgeschwächter Form (z. B. nur in einzelnen Landkreisen).	
hoch	Es gibt einen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld.	●

Quelle: Eigene Darstellung.

Ein Kontextindikator des CMEF (EU-COM, DG AGRI, 2023) bezieht sich auf den Bodenschutz und wird regelmäßig auf Ebene der Mitgliedstaaten und Bundesländer erfasst. Der Kontextindikator C.42 Bodenerosion durch Wasser (Soil erosion by water) umfasst zwei Unterindikatoren:

Als erster Unterindikator wird die Erosionsrate (Estimated rate of soil loss by water erosion) erfasst, welche in Deutschland mit 1,23 t/ha/a für das Jahr 2016 angegeben ist. Mit 1,6 t/ha/a weist Hessen einen vergleichsweise hohen Wert auf. Nach dem zweiten Unterindikator Anteil der moderaten bis hoch erosionsgeprägten landwirtschaftlichen Flächen (Share of estimated agricultural area affected by moderate to severe water erosion >11 t/ha/a) liegt der Anteil in Hessen bei 1,8 % (auf Acker: 2,3 %, auf Grünland: 0,4 %) und damit etwas über dem bundesdeutschen Mittelwert von 1,4 % (EU-COM, 2019). Diese Auswertung beruht allerdings auf der Annahme einer homogenen Verteilung der Ackerkulturen auf Ebene der NUTS-1-Regionen. Die Erosionsgefährdung ist aber, wie bereits dargestellt, ein sehr kleinräumiges und standortspezifisches Problem und kann mit solchen Indikatoren nicht hinreichend beschrieben werden. Demnach werden für die weitere Beschreibung und Quantifizierung der Erosionsereignisse Berechnungen auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) vorgenommen.

Für Hessen wird die von Erosion gefährdete Fläche im Rahmen der Einteilung landwirtschaftlicher Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser (AgrarZahlVerpflV) sowie DIN 19708 Wasser erfasst (gem. spezifischer Erosionsschutzverordnung Hess. Eros Verord CC). Sie wird aufgeteilt nach Cross Compliance (CC, Weiteres zum Förderrecht siehe Kapitel 2.32) mit der Untergliederung für CC_{Wasser1} und CC_{Wasser2}, sowie nach dem potenziellen Bodenabtrag entsprechend der natürlichen Erosionsgefährdung (E_{nat}-Stufen). Die sehr hoch durch Wassererosion gefährdete Ackerfläche lag im Jahr 2021 bei zusammen knapp 105.000 ha, was ca. 14 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche entspricht (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Einstufung der Ackerfläche nach dem Grad der Wassererosionsgefährdung im Jahr 2021 in Hessen

CC-Kulisse	E _{nat} -Stufe	Bezeichnung Erosionsgefährdung	Hektar
CC _{Wasser} 0	E _{nat} 0	keine	1
	E _{nat} 1	sehr gering	4.758
	E _{nat} 2	gering	15.523
	E _{nat} 3	mittel	17.444
	E _{nat} 4	hoch	58.979
CC _{Wasser} 1	E _{nat} 5	sehr hoch	6.212
CC _{Wasser} 2	E _{nat} 6.1	extrem hoch	56.158
	E _{nat} 6.2	extrem hoch	28.100
	E _{nat} 6.3	extrem hoch	14.595
Summe			201.770

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des HLNUG und InVeKoS (2021).

Zum Zeitpunkt der Programmlegung (2015) wurde neben dem geltenden Ordnungsrecht (BBodSchG², BBodSchV³), das Thema Bodenerosion zuerst in der nationalen Biodiversitätsstrategie (BMU, 2007) allgemein aufgegriffen. Sie enthält die Zielsetzung, die Bodenerosion bis 2020 kontinuierlich zurückzuführen. In Hessen wurden die Vorgaben des BBodSchG in das Hessische Altlasten- und Bodenschutzgesetz überführt (HAltBodSchG, 2007). Die EU verabschiedete 2011 ihre EU-Biodiversitätsstrategie, welche ein Aufhalten der Verschlechterung der Ökosysteme bis 2020, aber keine Konkretisierungen zur Bodenerosion enthielt (Agra-Europe 2011).

2.1.2 Kohlenstoffspeicherung im Boden

Für eine hohe Bodenfruchtbarkeit ist vor allem ein hoher Humusgehalt entscheidend. Dieser richtet sich nach der Menge und Zusammensetzung des Eintrags an organischer Substanz (auch organischem Dünger), ihrem Abbau und ihrer Stabilisierung im Boden sowie den geogenen Bodeneigenschaften und äußeren Klimafaktoren. Durch eine Bewirtschaftung des Bodens oder das Einbringen von langfristigen Landschaftselementen wie z. B. Hecken kann der Humusgehalt stabilisiert oder erhöht werden. Humus wiederum besteht zu ca. 58 % aus Kohlenstoff (Flessa et al., 2018; Wiesmeier et al., 2020; Jacobs et al., 2018). Demnach ist der Eintrag von organischem Kohlenstoff in den Boden ein zentrales Bewertungskriterium.

Auf der einen Seite bietet ein erhöhter Gehalt an Bodenkohlenstoff die Möglichkeit, die Bodenstruktur zu verbessern und eine erhöhte Wasserinfiltration zu erreichen, was wiederum die Erosionsanfälligkeit verringert (Paul et al., 2023; Lenka und Fernández-Gentino García, 2021). Auf der anderen Seite ist mit dem Verlust von Oberboden durch Erosion auch der Verlust von Humus und damit Kohlenstoff sowie Pflanzennährstoffen verbunden (Honecker et al., 2022; Brunotte et al., 2022; Klein et al., 1999). Demnach ist auf Ackerflächen in Hessen, auch vor dem Hintergrund des Klimawandels und der daraus folgenden veränderten Bodenprozesse, der standortangepasste Bodenkohlenstoffgehalt aufrechtzuerhalten und eine humusschonende Bodenbearbeitung anzustreben.

² Bundes-Bodenschutzgesetz

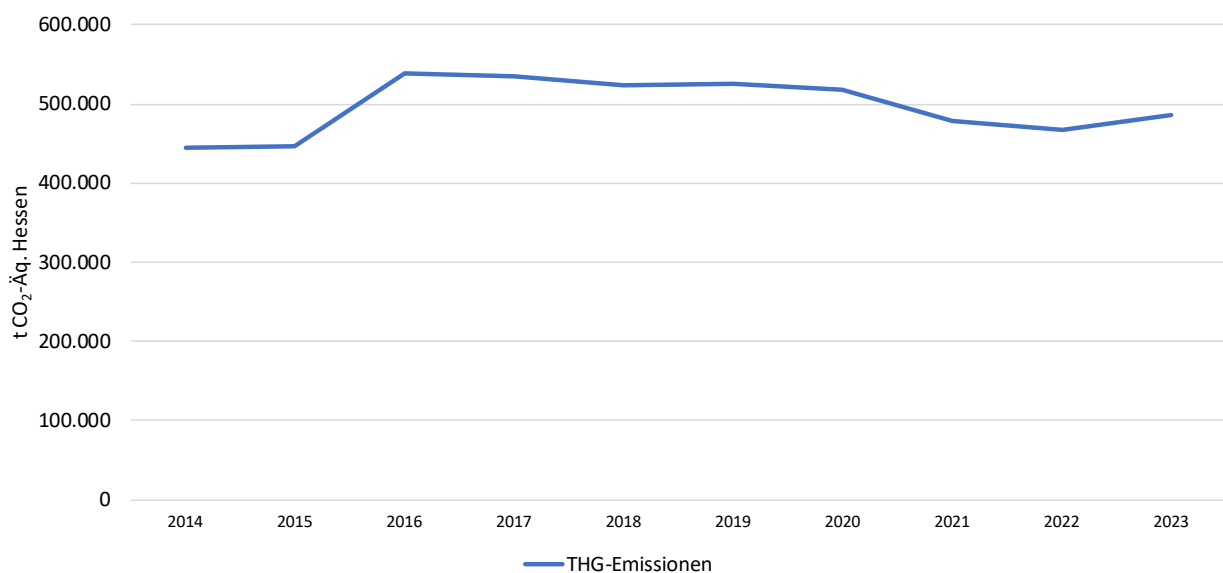
³ Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung

Die Vorgabe, den standorttypischen Humusgehalt eines Bodens zu erhalten, um die Bodenfruchtbarkeit zu sichern, leitet sich aus dem Prinzip der guten fachlichen Praxis (gfP) aus dem BBodSchG ab. Darauf aufbauende Bestrebungen, gezielt den Kohlenstoffvorrat im Boden durch Anpassungen der Bewirtschaftung zu erhöhen, um die THG-Emissionen aus dem Bereich der Landwirtschaft zu verringern, wurden gesetzlich erst nach dem Zeitpunkt der Programmlegung (2015) in der betrachteten Förderperiode v. a. im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2019) verankert (siehe dazu Kapitel 2.2).

Ackerflächen stellen eine wichtige Größe in der nationalen THG-Berichterstattung dar. Sie sind dem sogenannten LULUCF-Sektor (Land use, land-use change and forestry) zugeordnet. Grob unterschieden werden die fünf verschiedenen Flächennutzungen Wald, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen. Je nachdem, ob sie Kohlenstoff im Boden binden oder THG emittieren, werden sie in Senken oder Quellen eingeteilt. Ackerland in Hessen ist von den genannten Flächennutzungen die zweitgrößte Quelle von THG-Emissionen mit rund 0,5 Mio. t CO₂-Äq. (Abbildung 2). Mit den umgesetzten ELER-Maßnahmen kann durch die Speicherung des Kohlenstoffs im Boden ein Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit und Humusmehrung geleistet werden.

Weitere Ausführungen zu den THG-Emissionen im LULUCF-Sektor im Zusammenhang zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung (SPB 5E) sind dem Bericht von Roggendorf und Schwarze (2026) zu entnehmen.

Abbildung 2: THG-Emissionen der Ackerflächen in Hessen im Zeitverlauf



Quelle: Eigene Darstellung mit Werten von Gensior (2025).

Eine zeitliche Entwicklung des Kohlenstoffgehalts im Boden kann mit einem bodenbezogenen Kontextindikator nachvollzogen werden. Dieser basiert auf dem LUCAS Topsoil Survey, wird durch das Joint Research Center (JRC) der EU-KOM erfasst und im Rahmen des GAP-Monitorings berichtet. Der Kontextindikator C.41 Soil organic matter in arable land gibt die geschätzte Menge an organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Flächen (Ackerland, Grünland und Dauerkulturen) an (Oberboden: 0 bis 20 cm). Differenziert werden zwei Unterindikatoren: Zum einen die geschätzte gesamte Menge an organisch gebundenem Kohlenstoff und zum anderen der mittlere Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (EU-COM, DG AGRI, 2023). Werte für den Kontextindikator lagen für Deutschland nur für die Jahre 2011, 2015 und 2018 vor (Tabelle 3).

Tabelle 3: Kontextindikator C.41 Soil organic matter in arable land in Deutschland

Unterindikator	Einheit	Bezugsraum	Jahr		
			2011	2015	2018
1 Mean organic carbon content	g/kg	Deutschland	16,3	30,1	26,5
2 Total estimates of organic carbon content in arable land	Megatonnen (Mt)	Deutschland	11.781	1.306	1.004
davon Ackerland				416	620

Quelle: Eigene Darstellung mit den Werten von HMUKLV, 2015; EU-COM, 2015, 2018b, 2020.

Im Jahr 2015 wurde für Deutschland ein mittlerer Gehalt von 30,1 g/kg (Unterindikator 1) sowie ein geschätzter Gesamtwert von 1.306 Mt (Unterindikator 2) berichtet. Dem Ackerland wurden dabei 416 Mt zugewiesen, was einem Anteil von ca. 32 % entsprach (EU-COM, 2015). Bis 2018 verringerte sich der Wert auf 26,5 g/kg (Unterindikator 1) und 1.004 Mt (Unterindikator 2). Der Anteil des Ackerlandes beim Unterindikator 2 lag dort bei 620 Mt bzw. 62 % (hier wurden auch die Dauerkulturen mit eingerechnet) (EU-COM, 2020). Bis auf die Region um Darmstadt lag in den NUTS 2 Regionen in Hessen 2018 der mittlere Vorrat an organischem Kohlenstoff im Ackerland in der Spannweite zwischen 20 und 30 g/kg. In der Region um Darmstadt lag der Wert bei 18,2 g/kg (EU-COM, 2018b).

Werte für den C_{org} -Vorrat in Hessen liegen aufgrund der Auswertungen der Bodenzustandsbewertung Landwirtschaft für den Zeitraum von 2012 bis 2014 vor. Für den Gesamtboden (0 bis 100 cm) ist der Median des organischen Kohlenstoffvorrats 79 t/ha, die Spannweite reicht von 34 bis 172 t/ha (abhängig von der Bodenklasse). In den untersuchten Oberböden (0 bis 30 cm) wurden höhere (51 t/ha) Vorräte als in den Unterböden (27 t/ha) nachgewiesen. Die höchsten mittleren C_{org} -Vorräte im Gesamtboden liegen bei den hydromorphen Böden vor, wie z. B. Gleye mit 134 t/ha. Bezogen auf die Boden-Klima-Räume wiesen die „Zentralhessischen Anbaugelände“ sowie die „Rheinebene und Nebentäler“ die höchsten Werten über 83 t/ha (Gesamtboden) auf (Glasner und Heller, 2022).

Die Kohlenstoffgehalte in den Ackerflächen der Bodendauerbeobachtung und in Modellrechnungen zur Bodenzustandserhebung deuten in vielen Regionen Deutschlands auf einen negativen Trend (Verlust von 0,2 t/ha*a) hin (Flessa et al., 2018). Auch in Humusbilanzmodellierungen für 2020 konnten in einigen Regionen, die durch den Kartoffel- und Gemüseanbau geprägt sind (z. B. in Rheinhessen) deutlich negative Humusbilanzen verzeichnet werden (Baum et al., 2025). Ergebnisse aus dem Jahr 2025 zur Wiederholungsinventur zeigen für Deutschland (Hessen wurde mit beprobt) signifikant negative Veränderungen der C_{org} -Vorräte sowohl im Ober- als auch im Unterboden der Äcker (-1,6 % und 2,7 % bzw. $-0,9 \pm 8,2$ t/ha*a und $-2,1 \pm 14,4$ t/ha*a) (Poeplau et al., 2025).

Die Kohlenstoffspeicherung im Boden gewinnt auch vor dem Hintergrund des Klimawandels zunehmend an Bedeutung (Wüstemann et al., 2023). Der Eintrag von organischem Kohlenstoff in den Boden sollte in Deutschland, unter Berücksichtigung des Klimawandels und den damit zusammenhängenden Änderungen (schnellere soil organic carbon [SOC] Dekomposition, erhöhter Kohlenstoffeintrag durch steigende Nettoprimärproduktion), zwischen 1,3 t/ha und 2,3 t/ha höher liegen als heute, um zumindest den aktuellen C_{org} -Vorrat im Boden zu erhalten (Riggers et al., 2021).

Aufgrund des sinkenden mittleren Gehalts an organisch gebundenem Kohlenstoff im Boden zu den betrachteten Zeitpunkten und vor dem Hintergrund der Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenkohlenstoff (s. o.) ist von einem hohen **Handlungsbedarf** auszugehen (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Einschätzung des Handlungsbedarfs zur Kohlenstoffspeicherung im Boden

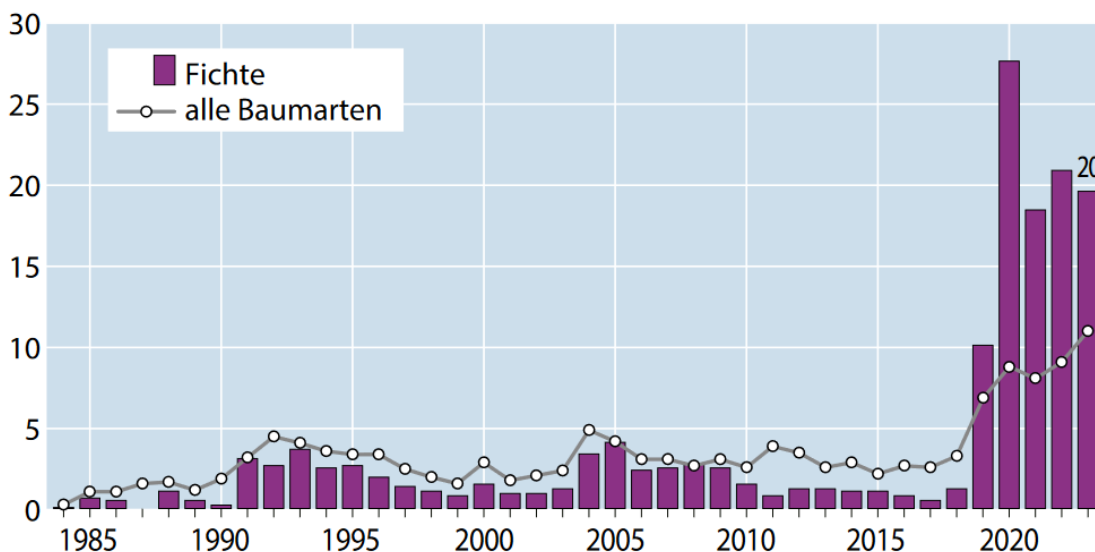
Handlungsbedarf	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Es gibt einen geringen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld, z. B. weil kein Problem vorhanden ist.	
mittel	Es gibt keinen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld. Ein Problem ist zwar vorhanden, jedoch in deutlich abgeschwächter Form (z. B. nur in einzelnen Landkreisen).	
hoch	Es gibt einen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld.	●

Quelle: Eigene Darstellung.

2.1.3 Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe im Wald

Hessens Waldfläche umfasst rund 848.300 Hektar bzw. 40,0 % der Landesfläche. Damit ist Hessen das walddreichste Bundesland Deutschlands (Statistisches Bundesamt (DESTATIS) 2023). Die Bundeswaldinventur 2014 ergab, dass der hessische Wald zu 59 % aus Laubbäumen besteht und zu 41 % aus Nadelbäumen. Die Waldverteilung in Hessen ist regional sehr unterschiedlich: So beträgt der Waldanteil in landwirtschaftlichen Gunstlagen wie im Gießener Becken nur 15 %. Im Odenwald, Spessart, Taunus, im nördlichen hessischen Schiefergebirge und im Weserbergland liegt er bei 50 % und darüber (HMUKLV, 2014). Im Laufe der Förderperiode zeigten die Waldzustandsaufnahmen im Jahre 2021, dass sich der Wald seit 2019 in einem anhaltend schlechten Vitalitätszustand befindet. Die mittlere Kronenverlichtung verbleibt auf einem hohen Niveau. Der schlechte Vitalitätszustand führt zu einem höheren Schadniveau und einer starken Destabilisierung der hessischen Wälder (HMUKLV, 2021b). In den Jahren von 2019 bis 2023 verschlechterte sich die Gesundheit der hessischen Wälder deutlich (NW-FVA und HMUKLV, 2023). Abbildung 3 zeigt auf, dass der Anteil an starken Schäden an der Fichte, aber auch an allen Baumarten seit 2019 erheblich zugenommen hat.

Abbildung 3: Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume) aller Altersklassen in Prozent in Hessen



Quelle: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt und Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2023).

Gründe für den schlechten Vitalitätszustand des hessischen Waldes liegen in den Trockenheits- und Schadereignissen der vergangenen Jahre aber auch in hohen Nährstoffeinträgen. Stickstoffemissionen (v. a. aus Verkehr und Landwirtschaft) konnten in der Vergangenheit durch verschiedene Maßnahmen reduziert werden.

Auf den meisten Flächen des hessischen Waldschadensmonitorings überschreitet der Stickstoffeintrag im Mittel der vergangenen zehn Jahre aber trotzdem den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Auch der Gesamtsäureeintrag überschreitet die nachhaltige Säurepufferkapazität der Waldstandorte (HMUKLV, 2018b). Es wird angenommen, dass in Deutschland 16 % der Waldfläche so stark durch Bodenversauerung betroffen ist, dass ohne eine aktive Regeneration der Verarmung nicht entgegengewirkt werden kann. Dies ist besonders im Hinblick auf die zusätzlich akuten klimabedingten Stressfaktoren problematisch (AFZ - DerWald, 2020). In Hessen sind nach Angaben des Landesbetriebs Hessen-Forst rund 350.000 ha Waldfläche als kalkungsbedürftig eingestuft (HMUKLV, 2015).

Die Verbesserung des Vitalitätszustands von Wäldern kann durch Maßnahmen wie die Erhöhung des Anteils trockenheitsresistenter Baumarten und die weitere Reduzierung von Stickstoffemissionen unterstützt werden. Waldkalkungen sind in bestimmten Gebieten mit versauerten Oberböden sinnvoll und notwendig. In einer Richtlinie sind Waldkalkungen als Maßnahme zum Bodenschutz integriert und sollen mit hoher Priorität durchgeführt werden (HMUKLV, 2018a). Aus der dargestellten Problemlage ergibt sich mittlerer Handlungsbedarf zur Verbesserung der Nährstoffkreisläufe im Wald (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Einschätzung des Handlungsbedarfs zur Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe

Handlungsbedarf	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Es gibt einen geringen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld, z. B. weil kein Problem vorhanden ist.	
mittel	Es gibt keinen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld. Ein Problem ist zwar vorhanden, jedoch in deutlich abgeschwächter Form (z. B. nur in einzelnen Landkreisen).	●
hoch	Es gibt einen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld.	

Quelle: Eigene Darstellung.

2.2 Eignung des ELER zur Problemlösung

Bei der Diskussion der Eignung des ELER zur Problemlösung sind auch die weiteren Rahmenbedingungen, insbesondere die Förderbedingungen des Europäischen Garantiefonds für die Landwirtschaft (EGFL), der sogenannten ersten Säule und deren Einfluss auf die Bodenbewirtschaftung zu berücksichtigen. Dies sind in erster Linie die **Cross-Compliance-Regelungen**, **GLÖZ-Standards** und das **Greening**.

Der Bodenschutz wird im Rahmen des EU-Förderrechts in der ersten und in der zweiten Säule mit den CC-Regelungen adressiert. Diese legen die Mindeststandards fest, die einzuhalten sind um Direktzahlungen zu erhalten. Das Instrument der CC-Regelungen ist prinzipiell für die Verbesserung der Bodenbewirtschaftung geeignet, da hierdurch die Mehrzahl der EU-Betriebe und 85 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen erreicht werden (EuRH, 2023). In Hessen ist der Anteil an landwirtschaftlichen Flächen, die von Direktzahlungen erreicht werden, mit 98 % noch deutlich höher als im EU-Durchschnitt (DESTATIS, 2024). Aufgrund der Kombination finanzieller Einkommensunterstützungen mit der Entlohnung von Ökosystemdienstleistungen weisen die CC-Regelungen das Potenzial auf den Vollzug des Ordnungsrechts und darüber hinausgehende GLÖZ-Standards (Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand) über die Verknüpfung mit den Direktzahlungen zu kontrollieren und zu sanktionieren (WBAE, 2018). Basierend auf Modellierungs-Ergebnissen konnten leicht positive Effekte der CC-Vorschriften für den Bodenschutz festgestellt werden (Feindt et al., 2021).

Cross-Compliance-Regelungen (CC-Regelungen)

Die CC-Regelungen müssen gemäß der VO (EU) Nr. 1306/2013 von allen Betrieben eingehalten werden, um die Agrarzahlungen (Direktzahlungen) zu erhalten. Es besteht eine Pflicht zur Einhaltung der Vorschriften in den Bereichen Umweltschutz, Klimawandel, guter landwirtschaftlicher Zustand der Flächen, Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze sowie Tierschutz. Zu den CC-Regelungen gehören sieben GLÖZ-Standards (s. u.) und 13 Regelungen zu den Grundanforderungen an die Betriebsführung (GAB).

Bodenbezogene GLÖZ-Standards

Konkret werden zum Erosionsschutz im GLÖZ 4-Standard „Mindestanforderungen an die Bodenbedeckung“ Vorgaben zur bodenschonenden Bewirtschaftung definiert, einschließlich Begrünungspflicht und Pflegezeitpunkt, was wiederum auch dem Schutz vor Erosion dient. Der GLÖZ 5-Standard „Mindestpraktiken der Bodenbearbeitung zur Begrenzung von Erosion“ sichert die Mindestanforderungen sowie zulässigen Bodenbearbeitungszeitpunkte und -methoden abhängig vom Grad der Wasser- und Winderosionsgefährdung und ist demnach mit wirkungsvollen Vorgaben zum Schutz vor Erosion versehen. Ein konkretes Beispiel dafür besteht in einem zeitlichen Pflugverbot (AgrarZahlVerpflV).

Im Bereich der Kohlenstoffspeicherung im Boden als zentralen Punkt für die Bodenfruchtbarkeit ist der GLÖZ 6-Standard „Erhaltung des Anteils der organischen Substanz im Boden“ wirksam. Er beinhaltet das Verbot des Verbrennens der Stoppelfelder und von Stroh auf Stoppelfeldern zum Erhalt des Bodenkohlenstoffs. Des Weiteren wird der Austrag von Bodenkohlenstoff indirekt durch die GLÖZ-Standards 4 und 5 durch Vorgaben zur Begrenzung der Erosion thematisiert. Das Pflugverbot wirkt sich zudem positiv auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden aus, da durch den Schutz der Grasnarbe der im Boden gespeicherte organische Kohlenstoff geschützt wird. Das Gebot des Dauergrünlanderhalts über die Verpflichtungen des Greenings schützt ebenfalls das Grünland (bis auf wenige Ausnahmen) vor Umbrüchen.

Greening

Das Greening als Baustein zur Erhaltung der Direktzahlungen gibt die Einhaltung von drei Elementen vor: Anbaudiversifizierung, Schutz von umweltsensiblen Dauergrünland und die Flächennutzung im Umweltinteresse (auch ÖVF) (VO (EU) Nr. 1307/2013). 30 % der Direktzahlungen sind an die Erbringung definierter Umweltauflagen geknüpft. Diesen Auflagen unterliegen generell alle Direktzahlungsempfänger:innen. Als *green by definition* – und somit Betriebe, die nicht den Greeningverpflichtungen unterlagen, aber dennoch die Zahlung erhielten – galten alle anerkannten Ökolandbaubetriebe und Betriebe, die im Jahr 2015 die Kleinerzeugetregelung beantragt hatten, sowie Betriebe ohne Basiszahlungen und solche mit sehr hohen Grünlandanteilen.

Die große Mehrzahl der landwirtschaftlichen Betriebe setzte das Greening um. Bestandteil des Greenings war auch die Anlage **Ökologischer Vorrangflächen** (ÖVF). Diese waren mit geringen Wirkungen für den Erosionsschutz, die Bodenfruchtbarkeit und einer Verringerung der Belastung landwirtschaftlicher Böden verbunden (Lakner, 2018; Nitsch et al., 2017; Röder et al., 2021). Am wirkungsvollsten für den Bodenschutz waren die Streifenelemente, Brachflächen und Zwischenfrüchte (Lakner, 2018).

Der **ELER** als **zweite Säule** bietet weitergehende Fördermöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe. Von Bedeutung sind hier insbesondere Flächenmaßnahmen, aber auch investive Vorhaben und die europäischen Innovationspartnerschaften (EIP). Den Bodenschutz adressieren können, bei entsprechender Ausgestaltung die **AUKM** und der **Ökolandbau**. Das Ambitionsniveau der meist fünf- bis siebenjährigen AUKM muss über dem der ersten Säule liegen, baseline gem. Art. 28 VO (EU) Nr. 1305/2013, und lässt positive Effekte für den Bodenschutz erwarten. Die Höhe der AUKM-Zahlungen orientiert sich an den zusätzlichen Kosten und dem Einkommensverlust (Feindt et al., 2021). In Hessen waren dem SPB 4C Bodenschutz nur ca. 32 Mio. Euro zugewiesen, was ca. 4,9 % des EPLR Gesamtbudgets darstellte (Röder et al., 2019). Das geringe Budget basiert zum einen auf der Tatsache, dass insgesamt nicht genügend Mittel zur Verfügung stehen, um alle Problemlagen

bedarfsgerecht zu adressieren (EuRH, 2023; Röder et al., 2019). Zum anderen unterliegt die zielbezogene Mittelverteilung auch dem politischen Abwägungsprozess (Feindt et al., 2021). In Hessen wurden die meisten AUKM außerhalb des ELER, mit nationaler Finanzierung, umgesetzt.

Die ELER-Förderung ist demnach prinzipiell geeignet, gezielt an Problemlagen anzusetzen und Veränderungen der Bodenbewirtschaftung zu bewirken, die über das Ordnungs- und Förderrecht hinausgehen. Darüber hinaus können durch den ELER bodenschutzrelevante Wirkungen durch Förderung investiver Vorhaben, der Bodenschutzkalkung im Wald sowie von Bildungs- und Beratungsmaßnahmen erreicht werden.

Allerdings wird das Potenzial weder bei den Anforderungen der bodenbezogenen CC-Standards inkl. GLÖZ (erste Säule) noch bei der bodenbezogenen Ausgestaltung der Maßnahmen und Höhe des zur Verfügung stehenden Budgets (zweite Säule) vollständig ausgeschöpft. Zudem wird nur ein Teil der Bodenthemen adressiert (Versiegelung und Bodenverdichtung fehlen).

Die Eignung des ELER bodenschutzrelevante Themen zu adressieren ist als mittel einzustufen (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Eignung der ELER-VO zur Lösung der Problemlagen und ihre Implementation im EPLR

Eignung	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Der EPLR kann aufgrund der Vorgaben/Ausgestaltung der ELER-VO nur einen geringen Beitrag zur Problemlösung leisten.	
mittel	Der EPLR kann aufgrund der Vorgaben/Ausgestaltung der ELER-VO einen deutlichen Beitrag zur Problemlösung leisten.	●
hoch	Der EPLR kann (theoretisch) aufgrund der Vorgaben/Ausgestaltung der ELER-VO einen hohen Beitrag zur Problemlösung leisten.	

Quelle: Eigene Darstellung.

2.3 Kontext der Förderung

Viele Maßnahmen zum Bodenschutz auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen werden auch durch die nationale Förderung außerhalb des ELER angeboten (HMUKLV, 2015).

Bodenschutz ist in einen strategischen und rechtlichen Rahmen eingebunden, wobei Impulse vor allem von der EU gesetzt werden.

Der Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) hatte 2014 bis 2020 in Hessen für die Finanzierung bodenschutzrelevanter Vorhaben auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen keine Bedeutung. Dieses Ergebnis basiert auf der Sichtung von EFRE-Projektlisten (HMWEVW, o.J.). Mit Bezug zum Bodenschutz allgemein wurden lediglich ein Vorhaben zur Bodensanierungen und Entsiegelungen von alten Industrieflächen und einer militärischen Konversionsfläche sowie ein Vorhaben zur Veredlung von Pflanzenkohle aus regionalem Restholz gefördert (HMWVW, 2024).

In **Hessen** haben außerhalb des ELER geförderte AUKM eine große Bedeutung. Über die Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) erfolgt seit 2014 eine Förderung von vielen Maßnahmen, die Bodenerosion vermindern, Kohlenstoff im Boden binden sowie von einigen Forstmaßnahmen. Der wichtigste Teil der GAK Förderung für den Bodenschutz wird im Rahmen der Förderung von besonders nachhaltigen Verfahren im Ackerbau oder bei einjährigen Sonderkulturen gefördert. Enthalten sind dort neben den Vielfältigen Kulturen im Ackerbau die Maßnahmen: Beibehaltung von Zwischenfrüchten und Untersaaten über den Winter, Anbauverfahren auf erosionsgefährdeten Standorten, Integration naturbetonter Strukturelemente der Feldflur sowie Klima, Wasser und Boden schonende Nutzung oder Umwandlung von Ackerland (BMEL, 2016, 2019b). Im Jahr 2021 wurden als Summe aller Mittel (GAK, mit GAK verbundene EU-Mittel sowie zusätzliche nationale

Mittel) über 7,9 Mio. Euro für diese Maßnahmen verausgabt. Die geförderte Fläche lag bei 84.249 ha (BMEL, 2021a). Im Vergleich mit dem ELER, welcher 2021 Fördermittel im Umfang von ca. 13 Mio. Euro nur für die Förderung Vielfältiger Kulturen im Ackerbau zur Verfügung stellte und laut InVeKoS-Angaben 2021 über 86.900 ha erreichte, weisen die Zahlungen eine vergleichsweise geringe Bedeutung auf. Auch wichtig für den Bodenschutz aber mit weniger Fläche verbunden sind nicht-produktive, investive Naturschutzmaßnahmen wie die Anlage von Hecken, Feldgehölzen, Uferbepflanzungen und Baumreihen, welche seit 2017 über die GAK gefördert werden. Für den gesamten Naturschutzbereich wurde allein für das Jahr 2020 ein Budget von 2,01 Mio. Euro zur Verfügung gestellt (60 % Bund, 40 % Land) (HMLU, 2024a).

Seit 2014 werden im Forstbereich Maßnahmen zur Bewältigung der Folgen von Extremwetterereignissen, wie z. B. Wiederaufforstung, gefördert (RP-Kassel, 2023; WIBank und Regierungspräsidium Darmstadt (RP Darmstadt), Dezernat V52 Forsten, o.J.; Extremwetterrichtlinie-Wald). Damit wurden Gelder zur Verfügung gestellt, welche die zur Programmlegung noch vorgesehene Teilmaßnahme 8.4 Flächenräumung zur Unterstützung für die Wiederherstellung von durch Waldbrand, Naturkatastrophen und Katastrophenereignissen geschädigter Wälder inhaltlich nahezu ersetzt. Sie war mit weniger bürokratischem Aufwand zu beantragen und abzuwickeln. Demnach wurde die Teilmaßnahme nicht in Anspruch genommen, weshalb sie in diesem Bericht auch nicht weiter thematisiert wird. Im Rahmen der Extremwetterrichtlinie (2019) wurden bis Mitte Oktober 2023 knapp 70 Mio. Euro gezahlt (HMLU, 2024a).

Die Zertifizierung für den Aufbau von organischem Kohlenstoff (sogenannte „**Humuszertifikate**“) ist ein anderes Instrument, welches während der FP zunehmend Aufmerksamkeit erhalten hat. Unter bestimmten Voraussetzungen ist es möglich, als Bewirtschafter:in Zertifikate zu erhalten, wenn nachweislich, dauerhaft und zusätzlich sowie ohne indirekte Landnutzungsänderungen (sogenannte Leakage-Effekte) Kohlenstoff aus der Atmosphäre im Boden gebunden wird. Dazu zählen Maßnahmen wie z. B. Umwandlung von Ackerland in Grünland, Verbleiben oberirdischer Erntereste auf dem Feld oder Anbau humusmehrender Kulturen (Wiesmeier et al., 2020). Diese Zertifikate sind bisher nicht Bestandteil des europäischen Emissionshandels (EU-ETS), sondern werden von privatwirtschaftlichen Initiativen und Firmen erstellt, um freiwillige Leistungen zu honorieren. Wie sich diese freiwilligen Zertifikate in Zukunft im Bereich der Landwirtschaft entwickeln ist nicht abzusehen, sie können aber ein Anreiz sein, dass sich Landwirt:innen stärker mit einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung und Humusversorgung auseinandersetzen (ebd.).

Auch im **hessischen Weinbau** wird die Thematik Boden- und Erosionsschutz adressiert. Im Rahmen der Beratung für einen gewässerschutzorientierten Weinbau werden verschiedene Möglichkeiten aufgeführt, welche besonders die offengehaltenen Weinbergböden in Hanglagen vor Bodenerosion schützen können. Kritisch sind dort vor allem die Junganlagen und die Steillagen (RPDA, 2024).

Tabelle 7: Bedeutung des EPLR im Verhältnis zum Kontext

Eignung	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Die potenziellen Wirkungsbeiträge des EPLR sind im Vergleich zu alternativen Instrumenten als gering einzuschätzen. (Die Zielerreichung/Problemlösung wird durch den EPLR kaum beeinflusst.)	
mittel	Die potenziellen Wirkungsbeiträge des EPLR sind im Vergleich zu alternativen Instrumenten als bedeutsam einzuschätzen. (z. B. zur Flankierung anderer Instrumente um besondere Ziele zu erreichen/Einzelfalllösung).	●
hoch	Die potenziellen Wirkungsbeiträge des EPLR sind im Vergleich zu alternativen Instrumenten als zentral/sehr hoch einzuschätzen.	

Quelle: Eigene Darstellung.

3 Relevante Maßnahmen und Umsetzung

3.1 Zielsetzungen

Die für die Bodenschutzwirkung relevanten Maßnahmen mit prioritärem (P) oder sekundärem Ziel (x) im SPB 4C sind dem oberen Abschnitt von Tabelle 8 zu entnehmen. Für die Bewertung der Bodenschutzwirkung des Gesamtprogramms werden auch Maßnahmen ohne programmiertes Ziel aber mit möglicher Wirkung gemäß des Feinkonzepts aufgeführt (Ø) (Pufahl et al., 2023).

Tabelle 8: Maßnahmen mit und ohne Bodenschutzziel

Code	Abkürzung	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Kurzbezeichnung	Zielsetzung SPB 4C
mit programmiertem Bodenschutzziel				
VA 4.3-2	Flur	Investitionen in die Neuordnung ländlichen Grundbesitzes und Gestaltung des ländlichen Raumes	Flurneuordnung	x
TM 7.2	7.2	Förderung für Investitionen in die Schaffung, Verbesserung oder Ausdehnung aller Arten von kleinen Infrastrukturen	Kleine Infrastrukturen	x
TM 8.5	8.5	Förderung für Investitionen zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit und des ökologischen Werts der Waldökosysteme	Bodenschutzkalkung	P
TM 10.1	VK	Zahlungen für Agrarumwelt- und Klimaverpflichtungen (Vielfältige Kulturen im Ackerbau)	Vielfältige Kulturen	x
TM 11.1/11.2	ÖKO	Zahlungen für die Einführung/Beibehaltung ökologischer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsverfahren und -methoden	Ökolandbau	P
TM 13.2/13.3	AGZ	Zahlungen für aus naturbedingten oder anderen spezifischen Gründen benachteiligte Gebiete	Ausgleichszulage	x*
ohne programmiertes Bodenschutzziel				
TM 16.1	EIP-Agri	Förderung für die Einrichtung und Tätigkeit Operationeller Gruppen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	Europäische Innovationspartnerschaften	Ø

P = prioritäres Ziel, x = sekundäres Ziel, Ø = ohne Ziel, im Feinkonzept vereinbarte Untersuchung bei erwarteter Wirkung

* = Ziel ist erst nach Neuabgrenzung (ab 2021) gültig.

Quelle: Eigene Darstellung entsprechend des genehmigten Programms (HMUKLV, 2015), den Angaben der Verwaltungsbehörde, der Fachreferate sowie dem Feinkonzept (Pufahl et al., 2023).

3.2 Geplante Outputs der Maßnahmen

Zur Finanzierung der Maßnahmen mit und ohne Bodenschutzziel waren die in Tabelle 9 aufgeführten öffentlichen Mittel und materielle Outputs laut Programm Version 7.1 vorgesehen (HMUKLV, 2021a). Die indikativen Ziele spiegeln die Situation nach der Verlängerung des Programms nach der Integration der EURI-Mittel wider. Insgesamt sind für die Maßnahmen ca. 447 Mio. Euro eingeplant.

Tabelle 9: Geplante Ziele und Mittel der Maßnahmen mit und ohne programmiertes Bodenschutzziel

Code	Abkürzung	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Kurzbezeichnung	geplanter Output		Indikative Mittel [Euro]	Zielsetzung SPB 4C
				Wert	Einheit		
mit programmiertem Bodenschutzziel							
VA 4.3-2	Flur	Investitionen in die Neuordnung ländlichen Grundbesitzes und Gestaltung des ländlichen Raumes	Flurneuordnung	k.A.		24.800.000	x
TM 7.2	7.2	Förderung für Investitionen in die Schaffung, Verbesserung oder Ausdehnung aller Arten von kleinen Infrastrukturen	Kleine Infrastrukturen	82	Vorhaben	15.283.422	x
TM 8.5	8.5	Förderung für Investitionen zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit und des ökologischen Werts der Waldökosysteme	Bodenschutzkalkung	21.000	ha	6.000.000	P
TM 10.1	VK	Zahlungen für Agrarumwelt- und Klimaverpflichtungen (Vielfältige Kulturen im Ackerbau)	Vielfältige Kulturen	130	Vorhaben	46.000.000	x
TM 11.1/11.2	ÖKO	Zahlungen für die Einführung/Beibehaltung ökologischer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsverfahren und -methoden	Ökolandbau	100.000	ha	189.909.657	P
TM 13.2	AGZ	Zahlungen für aus naturbedingten Gründen benachteiligte Gebiete	Ausgleichszulage	334.000	ha	152.622.506	x*
TM 13.3		Zahlungen für aus anderen spezifischen Gründen benachteiligte Gebiete		75.000	ha	1.000.000	
Summe öffentlicher Mittel (oben)						435.615.585	
ohne programmiertes Bodenschutzziel							
TM 16.1	EIP-Agri	Aufbau und Betrieb von Operationellen Gruppen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	Europäische Innovationspartnerschaften	33	Operationelle Gruppen	12.050.000	Ø
Summe öffentlicher Mittel (gesamt)						447.665.585	

P = prioritäres Ziel, x = sekundäres Ziel, Ø = ohne Ziel, im Feinkonzept vereinbarte Untersuchung bei erwarteter Wirkung

* = Ziel ist erst nach Neuabgrenzung (ab 2021) gültig.

Quelle: Eigene Darstellung nach Programm 7.1 (HMUKLV, 2021a).

Die Einführung und Beibehaltung des Ökologischen Landbaus nehmen mit Abstand den größten Anteil der indikativen Mittel und der Fläche ein. Mit der Maßnahme soll ein Anteil von ca. 16 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche erreicht werden. Am geringsten sind die geplanten finanziellen Mittel bei der Bodenschutzkalkung, welche auf ca. 2,3 % der Waldfläche umgesetzt werden soll (HMUKLV, 2021a). Zu den Flächenmaßnahmen zählen der Anbau Vielfältiger Kulturen im Ackerbau, der Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau und die Ausgleichszulage. Bei der investiven Förderung der Europäischen Innovationspartnerschaften ist herauszustellen, dass bei dieser Maßnahme oft nur ein Teil der Vorhaben für den Bodenschutz relevant ist.

3.3 Geförderte Maßnahmen und deren Interventionslogik

3.3.1 Geförderte Maßnahmen

Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzzielen

Im Rahmen der investiven Maßnahme **Flurneuordnung** (VA 4.3-2) werden Flächen im ländlichen Raum nach den gesetzlichen Möglichkeiten so umgestaltet, dass die Agrarstruktur verbessert und gleichzeitig ein nachhaltiger und leistungsfähiger Naturhaushalt gesichert werden (HMUKLV, 2015).

Durch den EPLR wurden im Rahmen der Flurneuordnung verschiedene investive Kosten, wie z. B. Wegebau oder Maßnahmen zur Verringerung der Bodenerosion, mit EU-Mitteln kofinanziert. Zu den Flurneuordnungsverfahren gehört auch immer die rein national finanzierte Bodenordnung u. a. mit dem Ziel der Entflechtung der Nutzungskonkurrenzen in Form von Flächenbereitstellungen (Bathke und Tietz, 2010).

Im Rahmen der den Flurneuordnungsvorhaben anhänglichen Verfahren zur Bodenordnung (rein nationale Mittel) können auf den bereitgestellten Flächen auch Bewirtschaftungsmaßnahmen festgeschrieben oder Landschaftselemente eingebracht werden, die dem Bodenschutz zuträglich sind. Einen Beitrag zum Erosionsschutz leistet die Bodenordnung, indem landwirtschaftliche Flächen so umgestaltet werden, dass die Wind- und/oder Wassererosion vermindert werden. Beispiele dafür sind Änderungen der Schlagausrichtung, Veränderung der Bewirtschaftungsrichtung und -weise, Schlagunterteilung, Heckenpflanzungen, bis hin zur Nutzungsänderung (Steininger und Wurbs, 2017, 2023; Richter, 2024). Bereits in der letzten FP (2007 bis 2013) wurde auch die Anlage von Grünstreifen in erosionsgefährdeten Bereichen und entlang von Gewässern

umgesetzt. Diese Maßnahmen bezogen sich auch auf größere, zusammenhängende räumliche Gebiete (Bathke und Tietz, 2016). Auch die Kohlenstoffspeicherung im Boden kann im Einzelfall durch verschiedene Wirkungsfaktoren bedient werden, wenn beispielsweise Hecken angepflanzt und langfristig beibehalten werden (vgl. Tabelle 11). Dabei ist zu beachten, dass nur die eingebrachten Strukturen gewertet wurden, welche neu hinzugekommen sind, d. h. den vorgegebenen Ausgleich- und Ersatz (Eingriffsregelung, §§ 13ff BNatSchG) übertrafen.

Eine weitere investive Maßnahme sind die **Investitionen in kleine Infrastrukturen, erneuerbare Energien und Energieeinsparungen** (TM 7.2). Schwerpunktmäßig ist dabei der ländliche Wegebau zur Verbesserung der lokalen Infrastrukturen für die ländliche Bevölkerung verbunden. Ausführungen zur Ausgestaltung und Wirkung dieser Teilmaßnahme sind dem Bericht von Bathke (2020) zu entnehmen. Die Projekte werden außerhalb der Verfahrensgebiete der Flurneuordnung umgesetzt. Bodenschutzeffekte sind möglich, wenn durch eine bessere Regulierung des Wasserabflusses entlang von Wegen erzielt wird, dass weniger starke Erosionsereignisse auftreten. Negative Effekte können jedoch nicht ausgeschlossen werden, wenn Wegeneubauten zu Versiegelungen führen.

Der EPLR bietet mit der **Bodenschutzkalkung** (TM 8.5) auch eine Forstmaßnahme an. Ziel ist die Erhaltung bzw. die Wiederherstellung der Filter-, Puffer- und Speicherfunktion der Waldböden und die Begünstigung der Stabilität der natürlichen Biodiversität des Waldes (BMEL, 2019a). Mit der Bodenschutzkalkung soll die Bodenstreu, der Boden und der Nährstoffhaushalt strukturell verbessert werden, womit zudem auch eine vergrößerte Widerstandsfähigkeit der Bestände angestrebt wird. Eine gutachtliche Stellungnahme der Zweckmäßigkeit und Unbedenklichkeit ist Voraussetzung für die Förderung (HMUKLV, 2015). Weitere Informationen zur Maßnahme sind dem Bericht von Rorig (2024) zu entnehmen.

Zu den Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel gehören auch die **Vielfältigen Kulturen im Ackerbau** (VK) (TM 10.1). Mit der Umsetzung der Maßnahme wird ein breiteres Spektrum angebaute Kulturen, unter Einbeziehung von Leguminosen, angestrebt. Mit der erweiterten Anbaustruktur soll der natürliche Wasserrückhalt erhöht sowie die Bodenstruktur und somit auch der Bodenwasserhaushalt (quantitativ und qualitativ) verbessert werden (HMUKLV, 2015). Ein breiteres Fruchtartenspektrum unter Berücksichtigung von Leguminosen ist mit vielfältigen positiven phytosanitären und weiteren Wirkungen für den Bodenschutz verbunden, z. B. mit verbesserter Bodenstruktur und dem Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (Böhm et al., 2020; BMEL und BLE, 2020; Winterling et al., 2019). Ausführungen zur Gestaltung der Maßnahme, zur Akzeptanz und Inanspruchnahme sind dem Bericht von Roggendorf et al. (2024) zu entnehmen.

Bei der **Einführung/Beibehaltung des Ökologischen Landbau** (ÖKO) (TM 11.1/2) wird die Einführung und Beibehaltung ökologischer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsverfahren und -methoden nach EU-Ökolandbauverordnung (VO (EG) Nr. 834/2007) bzw. der Folgeverordnung (VO (EU) 2018/848) sowie den spezifischen Vorgaben der Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen für das Hessische Programm für Agrarumwelt- Landschaftspflege-Maßnahmen (HALM) (HALM-RL 2015) gefördert. Durch die Integration humusmehrender Leguminosen in die Fruchtfolge können die nötige Stickstoffzufuhr durch den Vorfruchteffekt reduziert und die Stickstoffausträge verringert werden. Aufgrund der schonenden Bodenbewirtschaftung weist der Ökolandbau ein hohes Potenzial auf, ein aktives Bodenleben zu unterstützen (Sanders und Heß, 2019; Lori et al., 2017; UBA, 2020). Ausführungen zur Akzeptanz und Inanspruchnahme sind dem Bericht von Roggendorf et al. (2024) zu entnehmen. Auch Beiträge zum Erosionsschutz sind möglich (Honecker et al., 2022).

Mit den **Zahlungen für aus naturbedingten oder anderen spezifischen Gründen benachteiligte Gebiete** (Ausgleichszulage, AGZ) (TM 13.2/3) wird die dauerhafte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen in diesen Gebieten gefördert. Diese wiederum soll zur Erhaltung der Landschaft und zur Förderung nachhaltiger Bewirtschaftungsmaßnahmen beitragen. Gefördert wurden die Maßnahme aufbauend auf der nationalen Rahmenregelung und nach der AGZ-Richtlinie in Form der Kompensation von Einkommensverlusten und zusätzlichen Kosten (AGZ-RL 2015). Ein Bericht von Reiter und Sander (2022) beschreibt die Maßnahme und untersucht die Wirkung der AGZ auf den Dauergrünlanderhalt. Positive Effekte für den Bodenschutz wie die

Verhinderung der Bodenerosion und die Verbesserung der Bodenbewirtschaftung werden gemäß der Zielsetzung nationaler Rahmenregelung damit ebenfalls angestrebt (BMEL, 2019a; HMUKLV, 2015). Die Abgrenzung der Gebiete 2021 erfolgte anhand von acht, von der EU-KOM vorgegebenen, biophysikalischen Indikatoren. Für die TM 13.2 umfasst die neu abgegrenzte Förderkulisse seit 2021 alle Flächen, die den Schwellenwert für einen der Indikatoren erreichten. Nach der Neuabgrenzung 2018 wurden für die TM 13.3 nochmal im Jahr 2020 Flächen in Hessen abgegrenzt, indem bestimmte Abgrenzungskriterien⁴ definiert wurden. Die bis 2018 gültige alte Förderkulisse wurde noch nach anderen standörtlichen und sozioökonomischen Faktoren abgegrenzt. Eine Förderung erhielten landwirtschaftliche Betriebe, wenn sie die Mindesttätigkeit im Sinne Art. 4 Direktzahlungen-VO (VO (EU) Nr. 1307/2013) einhalten. Weitere Bewirtschaftungsvorgaben hinsichtlich des Bodenschutzes gab es nicht.

Vorhaben ohne programmiertes Bodenschutzziel

Auch Maßnahmen ohne programmiertes Ziel können positive Wirkungen auf den Boden haben.

Die Berücksichtigung dieser Maßnahmen erfolgte in Abhängigkeit ihres Outputs bzw. der Anzahl relevanter Projekte und potenzieller Wirkungspfade.

Die Teilmaßnahme 16.1 **Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP-Agri)** konzentriert sich auf Vorhaben, die thematisch auf nachhaltige, ressourceneffiziente und -schonende sowie tiergerechte Produktionssysteme ausgerichtet sind. Wesentliches Ziel ist es, die Zusammenarbeit zwischen land- und ernährungswirtschaftlicher Praxis sowie der Wissenschaft zu stärken und so Innovationsprozesse zu fördern. Gefördert werden sogenannte Operationelle Gruppen (OG), die sich aus Mitgliedern der landwirtschaftlichen Urproduktion, Forschungs- und Versuchseinrichtungen, Unternehmen der Verarbeitung/Vermarktung landwirtschaftlicher Produkte sowie Unternehmen des vor- und nachgelagerten Bereichs der Landwirtschaft und weiteren Akteur:innen wie Verbänden, Beratung, Körperschaften des öffentlichen Rechts zusammensetzen und ein innovatives Vorhaben zur Bearbeitung eines konkreten Problems planen.

Zur Förderung standen sechs Schwerpunktthemen zur Auswahl: Wertschöpfung, Diversifizierung, Klimawandel, Anbau- und Nutzungsverfahren, Tierhaltung und Zusammenarbeit. Innovationsprozesse sollten angestoßen und Synergieeffekte erzielt werden (HMUKLV, 2015). Programmtechnisch wurde die EIP-Förderung mit prioritärem Ziel dem Schwerpunktbereich 2A (Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit) zugeordnet. Aufgrund der inhaltlichen Breite der möglichen Themen ist davon auszugehen, dass die geförderten Vorhaben auch Impulse für andere Zielbereiche des EPLR, z. B. den Bodenschutz, geben. Eine ausführliche Betrachtung der Teilmaßnahme 16.1 findet sich bei Eberhardt (2022).

3.3.2 Wirkungspfade der relevanten Fördermaßnahmen im Überblick

Tabelle 10 stellt das Ergebnis des Screenings (theoretische Wirkungspfadanalyse) dar. Die Zuordnung der Maßnahmen zu den Bewertungskriterien/Wirkungspfaden und den entsprechenden Wirkungsfaktoren ist dort aufgeführt. Die Wirkungsfaktoren „Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe“ und „Regulierung der

⁴ Diese sind:

(A) die gehölzdominierte Ökotonndichte, d. h. Saum und Randbiotop an Gehölzen (63.846 ha LF),

(B) Dürre als langjährige Abweichung der Bodenfeuchte um mind. 20 % (44.331 ha LF),

(C) landwirtschaftliche Flächen in Schutzgebieten wie Biotopreservate, Landschafts- und Wasserschutzgebiete, Naturparke, Naturschutzgebiete, Nationalparke, Natura-2000-Gebiete (26.799 ha LF),

(D) die Kombination von mindestens zwei unterschwelligen Ausprägungen der acht biophysikalischen Abgrenzungskriterien (17.635 ha LF),

(E) Enklaven (5.083 ha LF). Der Umfang der Nettofläche aus vorgenannten Kriterien sind 106.991 ha LF.

Abflussverhältnisse “ stehen für den Wirkungspfad der vereinfachten Bodenbewirtschaftung, der sehr unterschiedlich durch die Maßnahmen bedient werden kann. Die Wirkungsfaktoren „Erhöhung der Bodenbedeckung“, „Verkürzung der erosiven Hanglänge“ sowie „bodenschonende Bewirtschaftung“ sind für den Wassererosionsschutz ausschlaggebend. Zum Wirkungspfad Kohlenstoffspeicherung im Boden sind die letzten zwei Wirkungsfaktoren „Anbau humusmehrender Kulturen“ und „mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln)“ zentral.

Investive Maßnahmen wie Flurneuordnung (VA 4.3-2) und die Europäische Innovationspartnerschaften (TM 16.1) haben andere und z. T. breite thematische Zielsetzungen. Diese breite Zielsetzung ist der Grund dafür, dass zur Beurteilung des Wirkbeitrags zum Bodenschutz die Datengrundlage nicht ausreichend ist. Aufgrund ihrer indirekten und wenn langfristigen Wirkungsketten wurden sie in der Tabelle nur indirekt und pauschal den Wirkungsfaktoren zugeordnet. Sie können jedoch prinzipiell im Einzelfall – allerdings sehr geringe – Beiträge leisten, weshalb sie in den Wirkungskapiteln überwiegend qualitativ bewertet wurden.

Tabelle 10: Zuordnung der relevanten Maßnahmen zu Wirkungspfaden und damit verbundenen Wirkungsfaktoren

Code	Abkürzung	Kurzbezeichnung	erwartete Wirkung	Wirkungsfaktoren					Anbau humusmehrender Kulturen	mehrwähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln)
				Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe	Regulierung der Abflussverhältnisse	Erhöhung der Bodenbedeckung	Verkürzung der erosiven Hanglänge	bodenschonende Bewirtschaftung		
		Wirkungspfade	vereinfachte Bewirtschaftung		Wasserosionsschutz			Kohlenstoffspeicherung im Boden		
mit programmiertem Bodenschutzziel										
VA 4.3-2	Flur	Flurneuordnung	positiv, negativ		(x)	(x)	(x)	x	(x)	
TM 7.2	7.2	Kleine Infrastrukturen	positiv, negativ		x					
TM 8.5	8.5	Bodenschutzkalkung	positiv	x						
TM 10.1	VK	Vielfältige Kulturen	positiv					x		
TM 11.1/11.2	ÖKO	Ökolandbau	positiv			x		x	x	
TM 13.2/13.3	AGZ	Ausgleichszulage	positiv			(x)		(x)	(x)	
ohne programmiertes Bodenschutzziel										
TM 16.1	EIP-Agri	Europäische Innovationspartnerschaften	positiv	(x)		(x)	(x)	(x)	(x)	

(x) Wirkung nicht intendiert, im Einzelfall möglich

x Wirkung intendiert

Quelle: Eigene Darstellung.

3.4 Darstellung des Outputs der Maßnahmen

Dargestellt werden die physischen und finanziellen Outputs der Maßnahmen, aufgeteilt nach Maßnahmen mit programmierten und nicht-programmierten Bodenschutzziele (vgl. Tabelle 11). Bei den investiven Maßnahmen und EIP wurden zum einen Monitoringdaten für 2024 und zum anderen von den Landesämtern erhobene Daten dargestellt. Hingegen wurden bei den Flächenmaßnahmen die physischen Outputs (InVeKoS-Daten) jeweils zum Förderhöchststand 2022 angegeben. Beim finanziellen Output werden Daten mit dem Stand 12/2024 herangezogen. Um die Wirkungen der betrachteten Vorhabenarten auch vor dem Hintergrund der Zielerreichung betrachten zu können, wurden die Outputs mit den indikativen Zielen (Programm 7.1) verglichen.

Tabelle 11: Output und Finanzen der Maßnahmen mit und ohne Bodenschutzziel

Code	Abkürzung	Kurzbezeichnung	physischer Output				Zielwert- erreichung [%]	finanzieller Output		Zielwert- erreichung [%]
			Indikative Zielgröße		Förderhöchststand ¹⁾			Indikative Zielgröße [Euro]	öffentliche Ausgaben 2014 bis 2024 [Euro]	
			Wert	Einheit	Wert	Einheit				
Physische Flächen zum Förderhöchststand, Öffentliche Ausgaben zum Ende 2024										
mit programmiertem Bodenschutzziel										
VA 4.3-2	Flur	Flurneuordnung ²⁾		k.A.	82	Verfahren	-	24.800.000	22.158.212	89
TM 7.2	7.2	Kleine Infrastrukturen ³⁾	82	Vorhaben	138	Vorhaben	168	15.283.422	15.398.554	101
TM 8.5	8.5	Bodenschutzkalkung ⁴⁾	21.000	ha	15.327	ha	73	6.000.000	5.190.593	87
			130	Vorhaben	54	Vorhaben	42			
TM 10.1	VK	Vielfältige Kulturen ⁵⁾	100.000	ha	96.580	ha	97	46.000.000	42.123.677	92
TM 11.1/11.2	ÖKO	Ökolandbau ⁵⁾	121.500	ha	116.962	ha	96	189.909.657	192.628.538	101
		davon Ackerfläche	43.610	ha						
TM 13.2	AGZ	Ausgleichszulage ⁶⁾	334.000	ha	298.239	ha	89	152.622.506	158.978.739	104
TM 13.3			75.000	ha	16.761	ha	22	1.000.000	4.242.259	424
Summe öffentliche Mittel (oben)									436.478.313	
ohne programmiertes Bodenschutzziel										
TM 16.1	EIP-Agri	Europäische Innovationspartnerschaften ³⁾	33	Operationelle Gruppen	34	Operationelle Gruppen	103	12.050.000	9.340.723	78
Gesamtsumme öffentliche Mittel									445.819.037	

1) Monitoringdaten

2) Angaben des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG) für die Verfahren, welche zwischen 2014 und Ende 2023 EU-Mittel erhalten haben.

3) Monitoringdaten für das Jahr 2024.

4) Vorhabensbezogene Förderdaten des Landes für 2022 (HMUKLV 2023). In den Monitoringdaten werden zusätzlich noch die analysierten Flächen aufgeführt, welche als Vorbereitung zur Kalkung dienen. Der finanzielle Output lag bis zum Jahr 2022 bei 4.851.180 €.

5) Wert zeigt den Höchststand im Jahr 2022 (InVeKoS). Die Öko-Ackerfläche ist ein Näherungswert, da noch die Öko-Ackerflächen außerhalb Hessens aus der Datenbank herausgerechnet werden mussten.

6) Förderstand 2022, da die Ausgleichszulage ab dem Jahr 2023 aus den Mitteln des GAP-SP finanziert wird. 2023 erfolgten aus dem EPLR nur noch Nachzahlungen.

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Programms 7.1 (HMUKLV, 2021a), öffentliche Ausgaben (2015-2024), InVeKoS-Daten (2015 bis 2022), HLBG (2023), HMUKLV (2023a), EPLR-Programm (HMUKLV, 2015) sowie vereinzelt Monitoringdaten (2025).

Die Förderung kleiner Infrastrukturen, Ökolandbau sowie die Ausgleichszulage wiesen eine sehr große Zielwerterreichung bzgl. der Ausschöpfung des indikativen Budgets auf. In Bezug auf die Förderfläche wies die Förderung kleiner Infrastrukturen, EIP sowie die Vielfältigen Kulturen eine hohe Zielwerterreichung auf.

Für die Vorhabenarten mit programmiertem Bodenschutzziel wurde bis 12/2024 ca. 436,5 Mio. Euro ausgegeben, was 54 % der gesamten Ausgaben (ohne Technische Hilfe, rund 813 Mio. Euro) entsprach. Zusammen mit der Maßnahme EIP-Agri wurden 445,8 Mio. Euro investiert, was den Anteil am Gesamtbudget um ca. 1 % erhöhte. Bei der Zuordnung des Budgets der Maßnahmen zum Bodenschutz ist zu berücksichtigen, dass die Maßnahmen nicht nur dem Bodenschutz dienen, sondern größtenteils prioritäre Zielsetzungen in anderen SPB hatten.

Der größte Anteil (43 %) des bis 12/2024 verausgabten Budgets für bodenschutzrelevante Maßnahmen entfiel auf den Ökologischen Landbau. Die AGZ, mit der ca. 41 % der landwirtschaftlichen Fläche erreicht wurde, hatte einen weiteren großen Anteil am Gesamtbudget.

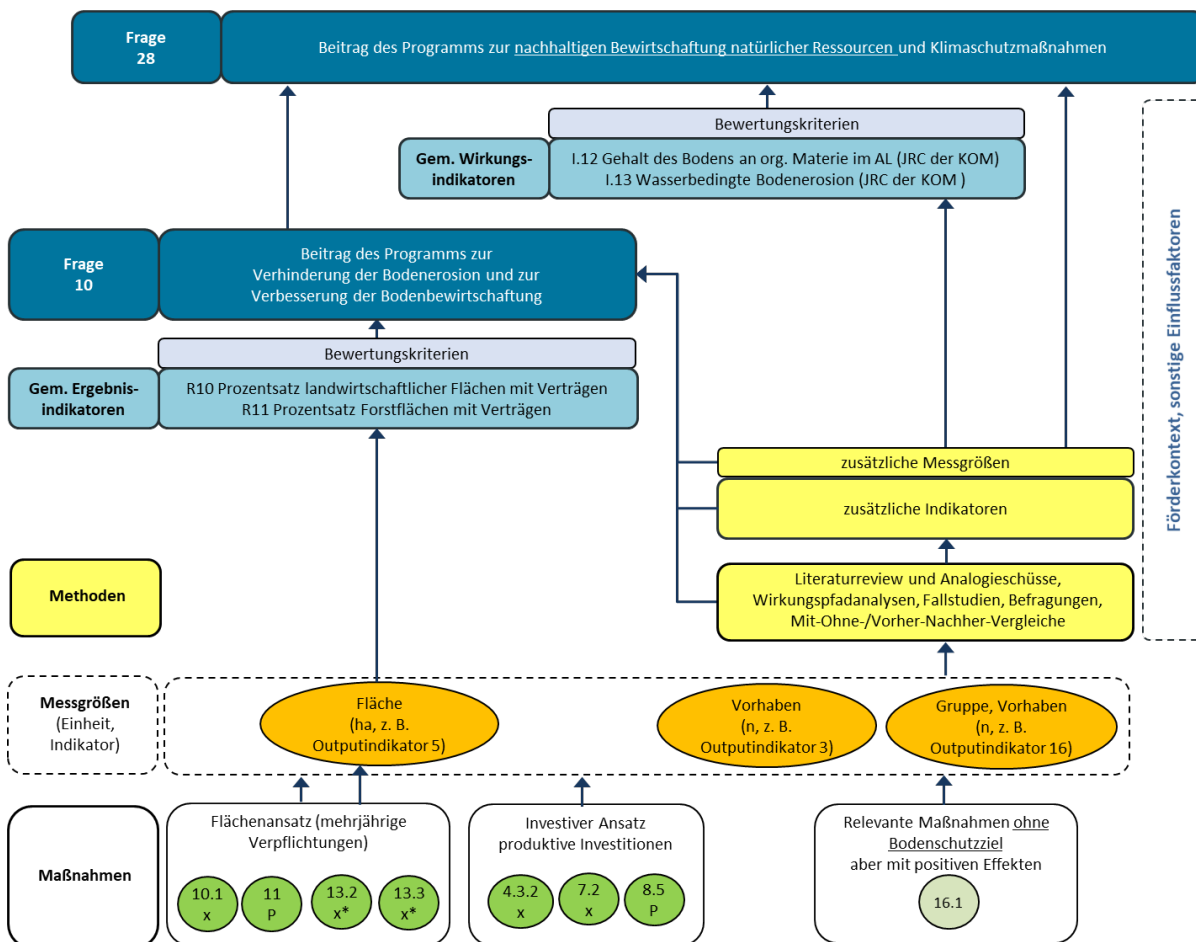
Die Maßnahme VK wurde ausschließlich in den Jahren 2014 und 2019 zur Erstbeantragung geöffnet; 2014 wurde die Maßnahme wegen Mittelausschöpfung nach dem ersten Antragsjahr wieder geschlossen (Schnaut et al., 2018). Ab dem Antragsjahr 2019 wurde die Finanzierung auf reine Landesförderung umgestellt, weswegen eine erneute Antragstellung wieder möglich wurde (HMUKLV, 2020). Mit der zweiten Öffnung wurde der ursprünglich gesetzte Zielwert von 48.000 ha (HMUKLV, 2015) überschritten und im Jahr 2020 der Zielwert auf 100.000 ha angehoben (HMUKLV, 2021a).

4 Daten und Methoden

4.1 Untersuchungsdesign

Ein zentraler Bestandteil des Berichts ist die Analyse der Bodenschutzwirkung der bodenschutzrelevanten Maßnahmen. Das hierarchisch aufgebaute Untersuchungsdesign des Berichts stellt Abbildung 4 dar.

Abbildung 4: Untersuchungsdesign zur Analyse der Bodenschutzwirkung und Beurteilung der Wirksamkeit



* Ziel ist erst nach Neuabgrenzung (ab 2021) gültig. P = prioritäres Ziel SPB 4C, x = sekundäres Ziel SPB 4C.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Leserichtung ist dabei von unten nach oben, ausgehend von für den SPB 4C relevanten Maßnahmen. Die Anzahl der geförderten Flächen bzw. Vorhaben wurde anhand der Output-Indikatoren erhoben. Für

Flächenmaßnahmen (VK, ÖKO) wurden die Output-Indikatoren auf Basis der InVeKoS-Daten bestimmt. Für die übrigen Maßnahmen wurde die Anzahl der geförderten Vorhaben oder die geförderte Fläche vom Land erhoben und den Evaluator:innen in Form von Projektlisten und -beschreibungen sowie Flächenangaben zur Verfügung gestellt. Die Wirkung auf den geförderten Flächen bzw. in den geförderten Vorhaben wird auf Basis von Angaben aus der Literatur, Wirkungspfadanalysen, Modellrechnungen mit der ABAG sowie Ergebnissen von Fallstudien, Befragungen oder Mit-Ohne/Vorher-Nachher-Vergleichen ermittelt. Aus den Ergebnissen werden die weiteren zusätzlichen Indikatoren gezogen, wie z. B. geförderte Ackerflächen in der Kulisse der Erosionsgefährdung (s. u.). Die zusätzlichen Indikatoren und Messgrößen fließen ein in die (Teil-)Beantwortung der Bewertungsfragen 10 und 28. Zur Beantwortung der Bewertungsfrage 10 werden auch die Ergebnisindikatoren R10 und R11 verwendet, welche wiederum aus den Output-Indikatoren der programmierten AUKM abgeleitet werden. Da der Ergebnisindikator R10 für die Beantwortung der Bewertungsfrage 10 nicht ausreichend war, wurde dieser Indikator mithilfe weiterer Analysen weiter qualifiziert. Die Bewertungskriterien bodenschutzorientierte Bewirtschaftung durch Schlagteilung, Erosionsschutz und Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung, sowie die Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe sind für diese Frage relevant.

In der Wirkungsanalyse wird die Wirkung der geförderten Flächen bzw. Vorhaben, abzüglich vollständiger Mitnahmen (= Wirkungen in Vorhaben, die auch ohne Förderung durchgeführt worden wären) berücksichtigt. Die Wirkungen werden auf Ebene der Zuwendungsempfänger je Vorhaben bzw. je Flächeneinheit erhoben. Für die Wirkungsquantifizierung bzw. -qualifizierung wurden die o. g. Bewertungskriterien betrachtet.

Zur Beantwortung der Frage 28 und damit zur Einschätzung der gesamten Programmwirkung aus Bodenschutzsicht werden die gemeinsamen Wirkungsindikatoren (I.12, I.13) hinzugezogen. Dazu werden alle relevanten Maßnahmen, auch die ohne programmiertes Bodenschutzziel (siehe Kasten in Abbildung 4 unten rechts), berücksichtigt. Im EPLR Hessen wurden keine quantitativen Wirkungsziele für den Bodenschutz festgelegt. Die Bodenschutzwirkung des EPLR wird anhand der im Feinkonzept festgelegten qualitativen Bewertungskriterien, z. B. „die Teilmaßnahme trägt zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei“, bewertet. Auch die Ergebnisse zur Frage 10 fließen in die Beantwortung der Programmfrage mit ein.

Ergänzend werden Informationen aus dem Förderkontext (andere Fördertöpfe, Ordnungsrecht) und sonstige Einflussfaktoren (weitere EU-Gesetze, Auswirkungen des Klimawandels) aufgeführt, um die Ergebnisse besser einordnen zu können.

Als **Bewertungskriterien** werden die in Tabelle 12 aufgeführten Kriterien herangezogen, mit den jeweils zugeordneten Indikatoren (Output-, Ergebnis-, und Wirkungsindikatoren) und Messgrößen sowie einer Erläuterung. Zudem ist die Ebene dargestellt, auf welche diese wirken und auf welcher sie bewertet werden.

Tabelle 12: Zuordnung der Indikatoren und Messgrößen zu den Bewertungskriterien

Bewertungskriterium	Indikator, Messgröße	Ebene
Die neuen Schlageinteilungen ermöglichen eine stärker bodenschutzorientierte Bewirtschaftung.	O3: Anzahl der geförderten Maßnahmen/Vorhaben	Ebene der Maßnahmen, z. B. Vielfältige Kulturen im Ackerbau
Es wurden Vorhaben mit Wirkungen auf den Bodenschutz umgesetzt.	O5: Landwirtschaftliche Fläche mit Bewirtschaftungsverträgen zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung/Verhinderung von Bodenerosion (Schwerpunktbereich 4C)	
Der Bodenschutz auf Flächen mit Verwaltungsverträgen ist wiederhergestellt, geschützt und verbessert worden.	O16: Zahl der unterstützten EIP-Gruppen, Zahl der unterstützten EIP-Vorhaben sowie Zahl und Art der Partner in den EIP-Gruppen	
Die Teilmaßnahme trägt zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei.	Gekalkte Flächen mit Kalkungsbedarf	
Die Teilmaßnahme trägt zur Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe bei.		
Die Teilmaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei.		
Der Bodenschutz auf Flächen mit Verwaltungsverträgen ist wiederhergestellt, geschützt und verbessert worden.	R10: Prozentsatz der landwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten. R11: Prozentsatz der forstwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten.	Ebene der spezifischen Ziele der GAP, Priorität 4C
Die Teilmaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei.	I.12: Gehalt des Bodens an organischer Materie in Ackerland. Auswirkungen der Bodenbedeckung und angebauten Kulturen auf die Kohlenstoffspeicherung.	Ebene der allgemeinen Ziele der GAP, Umweltschutz
Die Teilmaßnahmen tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei.	I.13: Bodenerosion durch Wasser. Anteil der Förderflächen auf besonders erosionsgefährdeten Flächen.	

O = Outputindicator, R = Resultindicator, I = Impactindicator

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf dem EPLR-Feinkonzept (Pufahl et al., 2023) und der ELER Durchführungsverordnung (DVO (EU) Nr. 808/2014)

Im Folgenden werden anstelle der langen Bewertungskriterien entsprechend Kurzbezeichnungen verwendet: Wassererosionsschutz, vereinfachte Bewirtschaftung und Kohlenstoffspeicherung im Boden.

4.2 Daten

Die verwendeten Datengrundlagen umfassen verschiedene Sekundärdaten. Es werden Evaluationsberichte/Bewertungsberichte anderer Autor:innen, InVeKoS-Daten (2015 bis 2022), vereinzelt Monitoring Daten (aus 2023, 2024), Daten des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG) zu den Vorhaben der Flurneuordnung, Daten der Ämter für Bodenmanagement (AfB) zu den Investitionen in kleine Infrastrukturen, vorhabenbezogene Förderdaten des Landes zu den Bodenschutzkalkungen (HMUKLV, 2023a), Informationen der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS), Angaben aus der Literatur und Verwaltungsdokumente (z. B. Förderrichtlinien) ausgewertet.

Zudem wurden die Werte für die Humusreproduktionsleistung des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) herangezogen, um die Quantifizierung mittels der Literaturwerte weiter einzuordnen (VDLUFA, 2014). Weiteres ist dem Abschnitt **Methodik Kohlenstoffspeicherung im Boden** zu entnehmen (s. u.).

Als weitere Datengrundlage bzw. Sekundärdaten werden verschiedene Berichte der laufenden Evaluierung und die Ergebnisse maßnahmenbezogener empirischer Erhebungen hinzugezogen. Diese werden in den jeweiligen Kapiteln genannt.

4.3 Wirkungsanalyse und -Bewertung

4.3.1 Mitnahmen, Wirkungsdauer und Bewertungsmaßstäbe für Bewertungskriterien

Mitnahmen

Das im Zusammenhang mit der Förderung erreichte Ergebnis, z. B. eine bestimmte Fruchtfolge, ist nur dann kausal auf die Förderung zurückzuführen, wenn es in der kontrafaktischen Situation ohne Förderung nicht genauso eingetreten wäre. Ist das Ergebnis mit und ohne Förderung gleich, wird es hier als Mitnahme bezeichnet. Zur Erfassung der Mitnahmen in Bezug auf die Wirkung werden drei verschiedene Kategorien unterschieden, welche in folgender Tabelle charakterisiert werden (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Mitnahmen nach Kategorien

Kategorie Mitnahme	Bedingung
Vollständige Mitnahme	Vorhaben, die ohne Förderung in identischer Weise (gleicher Umfang/Zeitpunkt) oder sogar größer/früher umgesetzt worden wären. Erwünschte Flächennutzungen, die ohne Förderung durchgeführt oder beibehalten worden wären.
Teilweise Mitnahme	Vorhaben, die ohne Förderung später, kleiner oder schrittweise umgesetzt worden wären oder ein Teil der geförderten Flächen (z. B. regional, standörtlich bedingt), auf denen keine Handlungsänderung durchgeführt wurde oder eine Beibehaltung der Nutzung auch ohne Förderung erfolgt wäre.
Keine Mitnahme	Vorhaben, die ohne Förderung nicht durchgeführt worden wären.

Quelle: Eigene Darstellung.

Grundannahme bei der Klassifizierung von Mitnahmen ist, dass Teilnehmenden, welche die durch die Maßnahmen eingeforderte Bewirtschaftungsauflagen auch ohne Förderung realisieren würden, keine durch die Förderung verursachten (zusätzlichen) Ressourcenschutzwirkungen erbringen. Diese kann durch die drei verschiedenen Abstufungen weiter eingeordnet werden.

Vollständige Mitnahmeeffekte werden von den auf Ebene der Teilmaßnahmen und Vorhabenarten gemessenen Wirkungen abgezogen. Somit ergibt sich eine Netto-Wirkung. Berücksichtigt werden nur die Wirkungen, die ganz oder teilweise auf die Förderung zurückzuführen sind. Bei den Flächenmaßnahmen (AUKM, ÖKO) wird der Umfang der wirksamen Flächen entsprechend der Höhe der Mitnahmen verringert. Grundlage dafür bieten die Analysen im sogenannten Akzeptanzbericht (Roggendorf et al., 2024). Bei den investiven Maßnahmen und dem EIP-Agri werden die Mitnahmen anhand der verausgabten öffentlichen Mittel kalkuliert. Die identifizierten vollständigen Mitnahmen werden bei den Wirkungen in Abzug gebracht. Im Wirkungskapitel sind nur Mitnahmeeffekte aufgeführt, die tatsächlich bei den Zuwendungsempfänger:innen erfragt bzw. datenbasiert geschätzt werden konnten.

Prinzipiell ist festzuhalten, dass bei den AUKM aufgrund der Vorgabe, dass die Anforderungen der Förderungen über das geltende Ordnungsrecht inkl. guter fachlicher Praxis hinausgehen müssen, vollständige Mitnahmen de facto ausgeschlossen werden. Allerdings können anteilige Mitnahmen auftreten, wenn beispielsweise regional beschränkt die gewünschten Verhaltensweisen auch ohne Förderung vorherrschen oder bestimmte Betriebsformen per se Förderbedingungen einhalten. Gleiches gilt, wenn umweltfreundliche Techniken gefördert werden, diese jedoch bereits eine breite Praxisanwendung erfahren haben.

Zudem ist zu berücksichtigen, dass die AUKM über einen langen Prozess im Rahmen mehrerer Förderperioden entwickelt wurden. Die Fördervoraussetzungen und Auflagen wurden zunehmend darauf ausgerichtet, Mitnahmeeffekte zu reduzieren. Dies erfolgte mithilfe verschiedener Festlegungen:

- die Gestaltung der Bewirtschaftungsauflagen, die z. T. deutlich oberhalb des durch Umwelt- und Ordnungsrecht vorgegebenen Standards liegen,
- das Fördern von neuen, umweltfreundlichen Techniken oder
- durch das Setzen von Bagatellgrenzen, um gleichermaßen die Förderung von „eh-schon-da-Flächen“ ausschließen und zur Minderung von Verwaltungskosten der öffentlichen Verwaltung für Kleinflächen beizutragen. (vgl. Roggendorf et al., 2024).

Die Mitnahmeeffekte werden bei den Maßnahmen, wenn sie relevant sind, erwähnt und beim Output bei der Gesamtbetrachtung in Abzug gebracht.

Wirkungsdauer

Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Einschätzung der Wirkung einer Maßnahme ist ihre Wirkungsdauer über den eigentlichen Förderzeitraum hinaus. Hierbei unterscheiden sich die Flächenmaßnahmen von den investiven Maßnahmen.

Bei den meisten Flächenmaßnahmen kann nur eine Wirkungsdauer für den Zeitraum der Förderung angenommen werden. Dies ist darin begründet, dass die Förderbedingungen ein Aufslagenniveau aufweisen müssen, welches über die durch das Umweltrecht vorgegebenen Standards und die Prinzipien der guten landwirtschaftlichen Praxis hinausgehen. Für den Bodenschutz und besonders die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist die Lagetreue der geförderten Flächen von Bedeutung, da nur eine langfristige humusmehrende Bewirtschaftung, z. B. durch einen Grünstreifen, den vergleichsweise langsam ablaufenden Prozess des Kohlenstoffaufbaus im Boden anstößt. Wird bei einem Auslaufen der Förderung z. B. der Anteil an Leguminosen in der Fruchtfolge wieder zurückgenommen, dann entfällt auch die vorher erreichte Wirkung.

Investive Maßnahmen hingegen wie z. B. die Flurneuordnung weisen längerfristige Wirkungen auf, welche i. d. R. über den Förderzeitraum hinausgehen. Dies ist darin begründet, dass diese mit einer Zweckbindung versehen werden. Oft geht die Wirkungsdauer aber über die Zweckbindungsfrist hinaus. Die durch den Prozess der Flurneuordnung eingebrachten Biotopstrukturen mit Bodenschutzwirkung müssen aufgrund der Vorgaben des FlurbG dauerhaft erhalten bleiben. Als Annahme wird eine Wirkungsdauer für investive Maßnahmen zwischen 20 und 25 Jahren angesetzt.

Bewertungsmaßstab

Die Wirkungen der betrachteten Maßnahmen (TM 8.5, TM 10.1, TM 11.1/2, TM 13.2/3) auf den Bodenschutz bzw. auf die einzelnen quantifizierbaren Bewertungskriterien Erosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung im Boden und Stabilisierungen der Nährstoffkreisläufe wurden anhand der in Tabelle 14 dargestellten Bewertungsskala klassifiziert. Diese teilt sich auf in die Bewertungskriterien und die dazu hinzugezogenen Einsparungs- und Festlegungseffekte. Die Wassererosion erlaubt sowohl Angaben zum vermiedenen Bodenabtrag als auch zur erreichten Fläche in der erosionsgefährdeten Kulisse. Bei der Kohlenstoffspeicherung im Boden erfolgt eine Quantifizierung in Form der eingesparten Humusäquivalente aufgrund der angebauten Ackerkulturen als Hinweis auf den festgelegten Kohlenstoff im Boden statt Ausstoß/Freisetzung in die Atmosphäre als CO₂. Hier wird die Angabe in Humusäquivalenten gewählt (pro Hektar und Summe), diese dann für die entsprechende Förderfläche in Humus C_{org} umgerechnet. Bei der Bodenschutzkalkung ist die mit der Kalkung erreichte Förderfläche ausschlaggebend (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 14: Bewertungsskala für quantifizierbare Maßnahmenwirkungen

Bewertungskriterium (Kurzbezeichnung)	Quantifizierung	Einheiten
Wassererosionsschutz	erreichte Fläche in der CC_{Wasser} -Kulisse bzw. E_{nat} -Kulisse vermiedener Bodenabtrag	ha, % t (gesamt), t/ha
Kohlenstoffspeicherung im Boden	vereinfachte Humusbilanzierung als Netto und Summe zur Situation ohne Förderung	Humusäquivalente (Häq/ha*a), (Häq/a), Humus C_{org} (t/a)
Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe	gekalkte Förderfläche	ha

Quelle: Eigene Darstellung.

Bei drei Maßnahmen (TM 8.5, TM 10.1, TM 11.1/2) konnte die Bodenschutzwirkung quantifiziert werden, sodass eine kardinale Bewertungsskala gewählt wurde. Dies stellt den Hauptteil der Bewertung dar. Bei zwei investiven Maßnahmen (VA 4.3-2, TM 7.2) und dem EIP-Agri ist die Datengrundlage für eine Quantifizierung nicht ausreichend. Bei diesen Maßnahmen steht der Bodenschutz nicht im Vordergrund, sodass auch die notwendigen Daten, wie z. B. Lage innerhalb der Erosionskulisse, nicht erfasst wurden. Für diese Maßnahmen erfolgt eine Wirkungsbewertung mittels Wirkungspfadanalysen, die eine qualitative Einstufung der Wirkung anhand der Bewertungskriterien sowie von Literaturangaben ermöglichen.

4.3.2 Methodik Wassererosionsschutz

Um den Erosionsminderungseffekt der bodenschutzrelevanten Flächenmaßnahme mit Wirkung auf den Wassererosionsschutz (Ökolandbau) zu analysieren, wurden im ersten Schritt Daten zur natürlichen Erosionsgefährdung (E_{nat} -Kulisse) in Verbindung mit InVeKoS-Daten aus dem Jahr mit dem verfügbaren Förderhöchststand 2022 für den Ökologischen Landbau in Hessen ausgewertet (Auszahlungsflächen). Die vorhandenen Flächenangaben basieren immer auf Ackerflächen, da die CC-Gefährdungsstufeneinteilung im InVeKoS nur für Ackerflächen hinterlegt ist. Ziel war es, den durch die Fördermaßnahmen vermiedenen Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Lage der Förderflächen pro Hektar und Jahr im Vergleich zur kontrafaktischen Situation (ohne Förderung, natürliche Erosionsgefährdung) zu quantifizieren.

Da zum tatsächlichen Erosionsgeschehen auf den geförderten Maßnahmenflächen und der Bewirtschaftung der angrenzenden Flächen keine gesicherten Angaben vorlagen, wurde zur Annäherung mit der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) für die Förderflächen gearbeitet, da sie die allgemeine und anerkannte Methode zur Einordnung der Bodenerosion darstellt. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) hat die Gefährdung der Böden durch Wassererosion nach der Methode der ABAG geschätzt, welche ursprünglich aus der Universal Soil Loss Equation (USLE) von Wischmeyer & Smith (1978) und in Deutschland auf Schwertmann et al. (1990) basiert (vgl. Kasten 1).

Kasten 1: Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG)

$$A = R * K * L * S * C * P \text{ [t/ha*a]}$$

Diese hier dargestellten sechs den Bodenabtrag bestimmenden Faktoren sind:

R: Regen- und Oberflächenabflussfaktor

K: Bodenerodierbarkeitsfaktor

L: Hanglängenfaktor

S: Hangneigungsfaktor

C: Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P: Erosionsschutzfaktor

Zur Berechnung des Bodenabtrags mithilfe der ABAG wurde zuerst entsprechend der Einteilung der Förderflächen nach Erosionsgefährdung (siehe Kapitel 2.1.1) jeweils der potenzielle Bodenabtrag zugeordnet (vgl. Tabelle 15). Dies stellt den Bodenabtrag entsprechend der natürlichen Erosionsgefährdung dar. Dieser wurde anhand der drei ABAG-Faktoren der natürlichen Bodenerodierbarkeit (K), der Hangneigung (S) und der Regenerosivität (R) bestimmt.

Tabelle 15: Wassererosionsgefährdungsstufen und deren potenzieller Bodenabtrag

CC-Klasse	Bodenabtrag [t] K * S * R	Stufe nach DIN 19708	Einordnung der Erosionsgefährdung
CC _{Wasser0}	< 0,5	E _{nat} 0	keine bis sehr gering
	0,5 - < 2,5	E _{nat} 1	sehr gering
	2,5 - < 5,0	E _{nat} 2	gering
	5,0 - < 7,5	E _{nat} 3	mittel
	7,5 - < 15,0	E _{nat} 4	hoch
CC _{Wasser1}	15,0 - < 27,5	E _{nat} 5.1	sehr hoch
CC _{Wasser2}	27,5 - < 45,0	E _{nat} 6.1	extrem hoch
	45,0 - < 67,5	E _{nat} 6.2	extrem hoch
	≥ 67,5	E _{nat} 6.3	extrem hoch

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Angaben des HLNUG, in Anlehnung an die Anlage 2 der AgrarZahlVerpflV und nach DIN 19708:2005-02.

Im zweiten Schritt wurde die in der Kullisse (CC_{Wasser}, E_{nat}1-6.3) gelegene geförderte Ackerfläche des Ökologischen Landbaus beziffert. Für den dritten Bearbeitungsschritt wurde der Erosionsvermeidungseffekt der Maßnahmen im Vergleich zur Bewirtschaftung der Flächen ohne diese Fördermaßnahme geschätzt (natürliche Erosionsgefährdung, kontrafaktische Situation ohne Förderung). Dies geschah unter der Annahme, dass die Bewirtschaftung im Ökologischen Landbau mit den angebauten Fruchtarten jeweils Einfluss auf den C-Faktor ausübt.

Da zur Berechnung des C-Faktors nach DIN 19708 Informationen zur Fruchtfolge in den einzelnen Betrieben notwendig sind, sich diese jedoch nicht ohne Weiteres aus den InVeKoS-Daten generieren lassen, wurde der

C-Faktor nach Auerswald et al. (2021) ermittelt. Dazu wurden nach Auerswald et al. die C-Faktoren jeweils als summierbare C-Faktoren (C_{sum}) bestimmt, basierend auf den jeweilig angegebenen Nutzcodes, welche sich auch für die Darstellung von Fruchtfolgen eignen. Das Besondere an den C_{sum} -Faktoren ist, dass sie auch die Nachwirkung der Kultur auf den Boden bzw. auf die Folgekultur vor dem Hintergrund der Erosionsanfälligkeit mitberücksichtigen (Übertragungseffekte). Basierend auf 57 verschiedenen Fruchtarten und Bewirtschaftungsweisen wurden den angegebenen Nutzcodes der Maßnahmen passende C_{sum} -Faktoren zugewiesen. Mit diesen wurde dann entsprechend der Förderfläche der gewichtete C-Faktor für den Ökolandbau in der jeweiligen Erosionskulisse kalkuliert.

Je höher die Bodenbedeckung ist, desto kleiner wird der C-Faktor. Nach dem Erreichen einer Bedeckung von > 70 % ist von einer Reduktion des Bodenabtrags von rund 99 % auszugehen (Brunotte, 2007). Durch eine permanente Bodenbedeckung wird dem Niederschlag die erosive Wirkung entzogen. Dies führt dazu, dass Bodenabtrag auf den Förderflächen nach der ABAG rechnerisch fast vollständig verhindert wird. Der L-Faktor wurde wie die K-, S- und R-Faktoren vom HLNUG zur Verfügung gestellt und aufgrund der Länge des Hanges mit Basis des DGM5 (Stand 2021) berechnet. Die erosionsmindernde Wirkung durch Querbearbeitung (Konturnutzung, Streifennutzung) gibt der P-Faktor an (Schwertmann et al., 1990). Da keine Daten auf Schlagebene vorliegen, wird der P-Faktor vom HLNUG auf 1,0 – keine besonderen Erosionsschutzmaßnahmen bzw. eine Bewirtschaftung entlang des Hanges – gesetzt (HLNUG, 2023; Meyer, 2000; LfL, 2023; Schmaltz et al., 2023; Schwertmann et al., 1990). Die ABAG-Faktoren, bis auf den P-Faktor welcher nicht weiter betrachtet wird, liegen die L-, S- und K-Faktoren in einem Rasterformat (5*5 m) vor. Des Weiteren wurden sowohl der R-Faktor als auch der Datensatz der geförderten Ackerflächen des Ökolandbaus mit den jeweiligen C_{sum} -Faktoren zur weiteren Verarbeitung von einem Polygondatensatz in ein Raster umgewandelt.

Im letzten Schritt wurde für die in den Kulissen CC_{Wasser} , E_{nat0} - E_{nat5} gelegenen Flächen eine Verrechnung mit den zugeordneten potenziellen und berechneten Bodenabträgen vorgenommen. Damit konnte der verminderte jährliche Bodenabtrag (ABAG) in Tonnen sowie in Bezug auf einen Hektar berechnet werden.

Bei der ABAG wird ein langjähriger mittlerer flächiger Abtrag für Einzelschläge angenommen. Tatsächlich tritt Erosion jedoch häufig kleinräumig auf Teilbereichen der Schläge auf und wird vom kleinräumigen Relief beeinflusst. Vor diesem Hintergrund ist die abgeleitete Abtragsmenge als theoretische Annäherung zu werten. In Teilgebieten können die Mengen des Bodenabtrags stark variieren und die mit der ABAG berechneten durchschnittlichen Abtragsmengen über- oder unterschreiten. Bei der ABAG ist meistens eine Überschätzung der tatsächlich stattfindenden Abträge anzunehmen (Steinhoff-Knopp und Bug, 2017; Evans et al., 2016). Dagegen wird besonders der errechnete Bodenabtrag unterschätzt, wenn bei gebündeltem Abfluss Rinnen- und Grabenerosion auftritt oder bei sehr langen Hängen mit einer geringen Hangneigung ein Zusammenfließen des Oberflächenabflusses ermöglicht wird (LfL, 2023).

4.3.3 Methodik Kohlenstoffspeicherung im Boden

Zur Analyse des Beitrags der Maßnahmen zur Kohlenstoffspeicherung im Boden wurden verschiedene Datenquellen hinzugezogen. Die InVeKoS-Daten liegen für die Teilmaßnahme Vielfältigen Kulturen im Ackerbau und den Ökologischen Landbau jeweils für die Jahre 2016 und 2022 vor. Für die Quantifizierung wurden zusätzlich Literaturquellen verwendet, welche neben der qualitativen Wirkungsabschätzung auch Richtwerte zur Einordnung der Ergebnisse liefern. Zudem fanden zur Quantifizierung auch die Werte des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) Verwendung. Für die investiven Maßnahmen und die Europäischen Innovationspartnerschaften (EIP-Agri) wurden die verfügbaren Daten mit einem Bodenbezug ausgewertet. Dafür waren verschiedene Daten von Förderantragsdaten über Projektbeschreibungen bis hin zu Befragungsergebnissen relevanter Fallstudien von Bedeutung.

Für die Auswertung der Flächenmaßnahme wurden die InVeKoS-Daten mit den Werten der **VDLUFA** für die Humuswirkung verknüpft. Die ermittelten Werte nach der VDLUFA-Methode für den Humusreproduktionsbedarf

basieren auf langjährigen Feldversuchen und Laborarbeiten, weshalb sie weitgehend unabhängig von Ertrag und Standort sind. Allerdings sind sie nicht für exakte Prognosen zur Veränderung der Humusgehalte und -vorräte geeignet, da weder Historie der Bodennutzung noch die Standortbedingungen vor Ort einfließen können. Die Fruchtarten wurden in die Kategorien „Humusmehrer“ (Gewinn an Bodenkohlenstoff, humusmehrende Pflanzen, positive Werte) und „Humuszehrer“ (Verlust an Bodenkohlenstoff, negative Werte) eingeteilt. Der Maßnahme wurde über die jeweiligen Nutzcodes entsprechende Werte der Humusreproduktionsleistung (Häq/ha*a)⁵ zugeordnet. Nur in Einzelfällen, in denen aus der Literatur aktuellere Werte zu Kohlenstoffeintragungsmengen bestimmter Flächennutzungen/Nutzcodes vorlagen, wurden diese herangezogen. Die Einheit des fruchtartenspezifischen Humusbedarfs ist kg C/ha*a . Bei der vom VDLUFA entwickelten Methode handelt es sich um eine vereinfachte und harmonisierte Humusbilanzierung⁶. Sie wurde sowohl für integrierte als auch ökologisch wirtschaftende Betriebe konzipiert. Somit erfolgte für den Anbau vielfältiger Kulturen im Ackerbau und den Ökologischen Landbau die Erstellung einer vereinfachten Humusbilanz, basierend auf den angebauten Kulturen (VDLUFA, 2014).

Um die Genauigkeit der Annäherung an die tatsächliche Humusbilanzierung noch zu erhöhen, wurde zum einen die humusmehrende Wirkung der auf dem Feld verbleibenden Koppelprodukte berücksichtigt. Dazu wurde der Kornertrag (dt/ha) für das Jahr 2022 als Information zum Hauptprodukt verwendet (DESTATIS, 2022). Aus der DüV wird das Hauptprodukt-Nebenprodukt-Verhältnis genutzt, um den Anteil des verbleibenden Koppelproduktes auf dem Feld in der Bilanzierung berücksichtigen zu können (z. B. das Stroh vom Getreide) (DüV). Dadurch ergibt sich der Strohertrag in dt/ha , welcher zusammen mit dem VDLUFA-Wert der Kulturen in Bezug auf Tonnen Frischmasse somit den Wert für die Humusäquivalente pro Hektar qualifiziert werden konnte. Zum anderen wurde die Wirkung des ÖVF-Zwischenfruchtanbaus mit einbezogen. Basierend auf den Angaben aus der Literatur wurde die humusmehrende Wirkung mit einem Wert von $320 \text{ kg C}_{\text{org}}/\text{ha*a}$ berücksichtigt (Poeplau und Don, 2015).

Die Bilanzierung des Humusgehalts ergibt sich aus der Summierung der Veränderung der Vorräte durch die angebauten Kulturen. Diese Methode wird auch im Rahmen des Berechnungsstandards für einzelbetriebliche Klimabilanzen (Arbeitsgruppe BEK, 2016) verwendet. Es können also nur Tendenzaussagen zur Humusbildung der Betriebe getätigt werden. Trotz der genannten Einschränkungen eignet sich die vereinfachte Humusbilanzierung aber, um eine vergleichende Bewertung von Bewirtschaftungssystemen auf Betriebsebene als Mit-Ohne- bzw. Difference-in-Difference-Vergleich (DiD) vornehmen zu können. Dies erlaubt, die Veränderung des Humusgehalts im Vergleich zur Situation ohne Förderung bzw. zu konventioneller Bewirtschaftung mit der VDLUFA-Methode zu kalkulieren. Die herangezogenen Zeitpunkte waren 2016 zu Beginn und 2022 gegen Ende der betrachteten FP.

Hinweis: Neben der Landnutzungsart (Acker- oder Grünland) hat der Standort den wichtigsten Einfluss auf den Humusvorrat von Mineralböden. Dabei sind Faktoren wie z. B. Bodentextur, Grundwassereinfluss und Bodentyp dafür ausschlaggebend, welches Humusniveau im Boden vorliegen kann (Vos et al., 2019; Don et al., 2021). Das heißt, standortspezifische Bedingungen sind stärker ausschlaggebend als die Bewirtschaftung (Drexler et al., 2022). Im Umkehrschluss ist damit verbunden, dass die in der Wissenschaft herausgearbeiteten Kohlenstoffeintragungsraten der verschiedenen Maßnahmen am wenigsten bestimmend für den Kohlenstoffgehalt und -vorrat im Boden sind, aber eine für diesen Rahmen geeignete Herangehensweise zur Quantifizierung darstellen.

⁵ Die Humusäquivalente können in kg Humus-C umgerechnet werden ($1 \text{ Häq} = 1 \text{ kg Humus C}$) (Beck und Rippel (2014)).

⁶ Der Verlust von Humus durch Zersetzung in Abhängigkeit von der Bodenart und Klima konnte nicht berücksichtigt werden (VDLUFA (2014)). Zudem erfolgte keine schlagspezifische Ermittlung der Humusversorgung der letzten fünf bis zehn Jahre. Es wird auch nicht die gesamte Fruchtfolge betrachtet.

5 Wirkungen und Wirksamkeit

Für die Analyse und Bewertung der Bodenschutzwirkung des Programms werden die Bewertungskriterien Wassererosionsschutz, Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden und vereinfachte Bodenbewirtschaftung verfolgt. Diese werden jeweils in getrennten Kapiteln bearbeitet. Zunächst erfolgt eine Beschreibung des Wirkpotenzials, bevor in den weiteren Unterkapiteln auf die tatsächliche Wirkung der Maßnahmen eingegangen wird. In den Kapiteln 5.4 und 5.5 werden Wirkungen auf den geförderten Flächen bzw. der geförderten Vorhaben beurteilt. In Kapitel 5.7 und zusammenfassend in Kapitel 7 erfolgt die Aggregation der Einzelwirkungen der Maßnahmen für das gesamte Programm.

5.1 Wirkpotenzial Wassererosionsschutz

Durch die Bodenerosion werden die natürlichen Funktionen des Bodens (v. a. Filterung, Pufferung und Transformation) eingeschränkt, was wiederum zur Beeinträchtigung der damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen wie z. B. Hochwasserschutz, Kohlenstoffspeicherung und Nahrungsproduktion führt (Stolte et al., 2016; Baritz et al., 2023; Jacobs et al., 2018; Steinhoff-Knopp et al., 2021). Demnach ist der Schutz vor Bodenerosion ein zentrales Thema im Bereich des Bodenschutzes.

Für die Anfälligkeit der Flächen gegenüber Wassererosion sind verschiedene Faktoren ausschlaggebend:

- Regen als unveränderbarer Faktor (R-Faktor in der ABAG),
- Hangneigung als nur mit großem Aufwand veränderbarem Faktor (S-Faktor),
- Hanglänge der Bodenbedeckung (L-Faktor) und der Bewirtschaftung (Einfluss auf den C-Faktor) als veränderbare Faktoren.

Zu den betrachteten positiv wirkenden Wirkungsfaktoren zählen diejenigen, welche im Rahmen der Bewirtschaftung und durch Maßnahmen angepasst werden können (vgl. Tabelle 10). Durch die Wahl der Bewirtschaftungsmethode, wie **Aufbau und Erhalt der Bodenbedeckung** (C-Faktor, Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor) kann am ehesten Einfluss auf die Erosion durch Wasser genommen werden (LfL, 2023; Honecker et al., 2022; Brand-Sassen, 2004). Eine bodenschonende Bewirtschaftung in Form von konservierender oder pflugloser Bearbeitung sorgt für mehr stabile Bodenaggregate und Makroporen, welche die Infiltration erhöhen und damit die Bodenabtragsraten gegenüber konventioneller Bewirtschaftung reduzieren (Steinhoff-Knopp und Bug, 2017; Honecker et al., 2022).

Durch das **Belassen der Pflanzenreste an der Bodenoberfläche** (Mulch), wird wiederum eine dichtere Bodenbedeckung erreicht, was nachweislich den Bodenabtrag reduziert (Seitz et al., 2019). Ab einem Bodenbedeckungsgrad von mindestens 25 bis 30 % ist bereits von einem guten Schutz auszugehen (Honecker et al., 2022; LWK NRW, 2007; Feldwisch und Frick, 2002). Mit einer geschlossenen Bodendecke kann das Wasser seine erosive Kraft beim Aufprall auf die Bodenoberfläche nicht entfalten. Damit wird einer Verschlammung des Bodens vorgebeugt, einem zentralen Auslöser für Oberflächenabfluss und Mitnahme bzw. Abtransports des gelösten Bodenmaterials. Hingegen sind durch den regelmäßigen Pflugeinsatz bearbeitete Flächen mit vegetationsfreier Bodenoberfläche wesentlich erosionsanfälliger als Mulchsaatflächen oder Flächen mit Direktsaat (Honecker et al., 2022).

Auch die **Verkürzung der erosiven Hanglänge** (L-Faktor) ist ein wichtiger Wirkungsfaktor. Maßnahmen, die sich dafür eignen, sind **begrünte Streifen, Hecken oder verkürzte Flurstücke** quer zur Hangrichtung in erosionsgefährdeten Bereichen. Durch die Anlage dauerhaft begrünter Streifen kann die erosive Kraft des Wassers aufgrund der erhöhten Rauigkeit der Bodenoberfläche und der daraus folgenden verminderten Fließgeschwindigkeit, verringert werden. Als Folge setzen sich das erodierte Bodenmaterial und die daran gebundenen Stoffe besser ab (Honecker et al., 2022; Kühne et al., 2018; LfULG, 2010; RPDA, 2024; Klein et al., 1999). Dasselbe gilt auch für begrünte Abflussbahnen in erosiven Tiefenlinien. Bei der Verkürzung der Hanglänge durch Grünstreifen und Hecken ist deren Lage und Breite entscheidend für die Wirkung. Am besten können sie

ihre Wirkung entfalten, wenn sie höhenlinienparallel angelegt sowie an die Neigung und Länge des Hanges angepasst sind. Prinzipiell gilt, je länger und steiler ein Hang, desto breiter müssen der Streifen und die Hecke (oder mehrere) sein, um die Fließstrecke und -geschwindigkeit zu verringern (LfULG, 2010; Skowronek und Schelmer, 2000; Schwertmann et al., 1990). Auch eine sinnvolle Kombination dieser Elemente z. B. im Rahmen von Flurbereinigungsverfahren kann zur Reduzierung der erosiven Hanglänge und der damit verbundenen Erosionsanfälligkeit beitragen (Richter, 2024; Steininger und Wurbs, 2023).

5.2 Wirkpotenzial Kohlenstoffspeicherung im Boden

Die humusmehrende Bewirtschaftung von Ackerflächen oder das Einbringen von Landschaftselementen wie Grünstreifen, Hecken oder Feldgehölzen kann zu einer Steigerung des Bodenkohlenstoffs beitragen. Das ist möglich, da der Kohlenstoffgehalt der Ackerböden und die Speicherkapazität, gegenüber einer natürlichen Vegetation, nicht ausgeschöpft ist (Wüstemann et al., 2023). Wird atmosphärischer Kohlenstoff im Boden durch Pflanzen, Pflanzenrückstände oder organische Feststoffe als Teil der organischen Bodenmaterie gebunden (C-Sequestrierung), verbleibt dieser nicht in der Atmosphäre (Olson et al., 2014). Dies wird erreicht durch die Veränderung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweisen und Grünlandbewirtschaftung, mit dem Ziel den Kohlenstoffvorrat in mineralischen Böden zu erhöhen (Siemons et al., 2023). Auch eine Zufuhr von organischer Materie durch Düngung kann zu einer Steigerung der Kohlenstoffspeicherung im Boden führen, sofern Verlagerungseffekte ausgeschlossen werden (Flessa et al., 2018; Tiefenbacher et al., 2021; Wüstemann et al., 2023).

Die geförderten Maßnahmen setzen an den verschiedenen **Wirkungsfaktoren** zur Speicherung von Kohlenstoff im Boden an und unterstützen hierdurch den Humusaufbau. Die Bewertung der Wirkung erfolgt anhand des Potenzials des eingetragenen Kohlenstoffs in den Boden, welcher aufgrund der folgenden Wirkungsfaktoren quantifiziert werden kann:

- bodenschonende Bewirtschaftung,
- Anbau humusmehrender Kulturen,
- mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln).

Der Beitrag der Maßnahmen zum Kohlenstoffeintrag in den Boden wird mithilfe verschiedener Methoden (siehe Kapitel 4) analysiert.

5.3 Wirkpotenzial vereinfachte Bodenbewirtschaftung

Dem Bewertungskriterium vereinfachte Bodenbewirtschaftung sind in diesem Bericht zwei Wirkungsfaktoren zugeordnet worden, welche sich anhand ihrer Bezugsfläche Acker- oder Forstfläche unterscheiden.

In Bezug auf die Ackerfläche kommt der Wirkungsfaktor **Regulierung der Abflussverhältnisse**, beispielsweise beim Straßenausbau, zum Tragen. Beim Ausbau von Straßenseitengräben kann das Niederschlagswasser gezielt abgeleitet werden. Bei gegebener Hangneigung kann somit die Entstehung von Rinnenerosion auf den angrenzenden Ackerflächen durch unkontrolliert abfließendes Oberflächenwasser verhindert werden. Das wirkt sich wiederum positiv auf die Bodenbewirtschaftung und damit auch dem Wirkungspfad Erosionsschutz aus. In Hessen unterlagen 2021 ca. 105.600 ha Ackerflächen einer sehr hohen ($E_{\text{nat}5}$ -Stufe) und extrem hohen natürlichen Erosionsgefährdung ($E_{\text{nat}6.1}$ bis $E_{\text{nat}6.3}$ -Stufen), weshalb ein hohes Potenzial für angrenzende Straßengräben vorliegt.

In Bezug auf die Forstflächen ist der Wirkungsfaktor **Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe** relevant. Hier sollen durch das Einbringen von Kalk in die Waldböden die Auswirkungen der Bodenversauerung gemildert werden. Somit können die Nährstoffkreisläufe stabilisiert und der wichtige Pflanzenbestandteil Stickstoff in der naturnahen Vegetation zwischen Boden und Pflanze in einem Kreislauf gehalten werden. Wie in der

Ausgangslagenbeschreibung mit Zielwert in Kapitel 2.1.3 dargestellt, gibt es in Hessen einen großen Umfang an kalkungswürdigen Forstflächen, weshalb ein großes Potenzial zur besseren Bewirtschaftung der Flächen besteht.

5.4 Wirkungen der Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzzielen

Die Einschätzung zu den Wirkungen der Maßnahmen mit programmiertem SPB 4C-Ziel gliedert sich innerhalb der Unterkapitel jeweils in die relevanten Bewertungskriterien Wassererosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung im Boden und vereinfachte Bodenbewirtschaftung.

5.4.1 Flurneuordnung

Die Angaben des Kapitels stützen sich auf den Bericht zur Flurbereinigung von Bathke und Tietz (2016). Gefördert wird die Vorhabenart gemäß der Nationalen Rahmenregelung (BMEL, 2019a). Entsprechend der Förderrichtlinie (FiRiLi 2015) können u. a. verschiedene Ausführungskosten übernommen werden:

- die Herstellung der gemeinschaftlichen Anlagen (§ 39 FlurbG), einschließlich der Beseitigung eventueller Elementarschäden, die vor Übergabe an den Unterhaltungspflichtigen entstehen,
- die nach § 37 Abs. 1 und 2 FlurbG mit Rücksicht auf den Umweltschutz, den Naturschutz und die Landschaftspflege, den Boden- und Gewässerschutz sowie den Denkmalschutz erforderlichen Maßnahmen,
- weitere Maßnahmen zur Sicherung eines (nachhaltig) leistungsfähigen Naturhaushaltes und Schaffung eines Biotopverbundsystems,
- landeskulturelle Maßnahmen, z. B. bodenverbessernde und landbautechnische Maßnahmen (Zäune, Viehtränken u. a.),
- Maßnahmen der Dorferneuerung (nach § 1 Abs. 1 Nr. 1 Buchst. d des GAKG zur Erhaltung und Gestaltung des dörflichen Charakters).

Zur Abschätzung der Wirkungen wird auf Ergebnisse von Befragungen der Verfahrensbearbeiter:innen in der Flurbereinigungsverwaltung sowie auf ergänzende Fallstudien zurückgegriffen, die in den vergangenen Förderperioden 2007 bis 2013 durchgeführt wurden. Aufgrund der generell langen Zeitdauer der Flurbereinigungsverfahren war eine Übertragung der Ergebnisse hier zulässig, zumal die Befragungen für zahlreiche Verfahrensgebiete (2010, 2015) durchgeführt wurden, die auch in der Förderperiode 2014 bis 2022 noch aktiv waren und in denen ELER-Mittel eingesetzt wurden. Für 18 aktive Verfahrensgebiete liegen Befragungsdaten vor, für 15 weitere Verfahrensgebiete wird aktuell eine Flurbereinigung in einem Ort durchgeführt, für den Befragungsergebnisse aus einem anderen Ortsteil vorliegen. Auch die Tatsache, dass der Anteil der Kosten für Maßnahmen zur Landschaftsentwicklung an den förderfähigen Kosten insgesamt leicht gestiegen ist (4,6 % gegenüber 4,0 % in der Förderperiode 2007 bis 2013, Tabelle 16), ist ein Indiz dafür, dass die Bedeutung von Naturschutz und Landschaftspflege in der Flurbereinigung tendenziell angestiegen ist. Dies belegt auch die Vielzahl der Verfahren (FP 2007 bis 2013: 15 bzw. 17 einseitige/zweiseitige Gewässerrandstreifen von 26 ausgewählten Verfahrensgebieten), die in der hier betrachteten Förderperiode bearbeitet wurden und die ein wesentliches Ziel in der Einrichtung von Gewässerrandstreifen hatten (Bathke und Tietz, 2016). Informationen zu den eingebrachten Biotopelementen, wie z. B. Gewässerrandstreifen und Nutzungsänderungen zu den Positionen in der Wassererosionskulisse lagen nicht vor, weshalb keine Quantifizierung vorgenommen werden konnte.

Nach Angaben des Programms (HMUKLV, 2021a) sind Fördermittel von 24,8 Mio. Euro für die Vorhabenart vorgesehen. Von 2014 bis 12/2024 wurden 24,8 Mio. öffentliche Mittel eingesetzt. In Tabelle 16 sind die Merkmale der mit EU-Mitteln geförderten der 82 geförderten Verfahrensgebiete aufgeführt. Der Wegebau nahm dabei den größten Anteil der förderfähigen Kosten ein. Die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen umfassen investive Maßnahmen zur Wasserführung, wozu beispielweise auch im Weinbau angelegte Sedimentrückhaltebecken gehören.

Tabelle 16: Merkmale der Verfahrensgebiete in der Flurneueordnung

Verfahrensgebiete			darin Wegebau		
Anzahl	n	82	Ausbau/Erneuerung	km	181
Größe der Verfahrensgebiete	ha	49.972	Rekultivierung	km	43
Größe der landwirtschaftlichen Fläche	ha	26.150			
davon Weinbaulich genutzte Fläche	ha	1.011			
Forstfläche	ha	14.364			
Anteile an den förderfähigen Kosten					
Wegebau	%	61,5			
Maßnahmen zur Landschaftsentwicklung	%	4,6			
wasserwirtschaftlicher Maßnahmen	%	10,4			
Dorferneuerung	%	2,8			

Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage von Angaben des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG). Verfahrensgebiete der Flurneueordnung, für die in der Förderperiode 2014 bis Ende 2023 EU-Mittel verausgabt wurden.

Die in der vergangenen Förderperiode durchgeführten Fallstudien zur Flurbereinigung haben gezeigt, dass die Bodenordnung sowie der Wegebau zumeist auch der Regulierung der Abflussverhältnisse dient (Verringerung von Flächenspülung durch hangparallele Bearbeitung, Ausbau von Straßenseitengräben, Erneuerung von Durchlässen etc.). In einigen Verfahrensgebieten wurde die Bearbeitungsrichtung in Hanglagen angepasst, die erosive Hanglänge verkürzt oder eine Umwandlung von Ackerland zu Grünland vorgenommen (Bathke und Tietz, 2016). Mit diesen Maßnahmen und der neuen Schlägeinteilung sind Beiträge zur Verringerung der Bodenerosion (Rinnenerosion), der verbesserten bodenschonenden Bewirtschaftung, zum Winderosionsschutz durch Heckenpflanzungen sowie zur Reduzierung von Bodenverdichtungen durch Verkleinerung von Vorgewenden zu erwarten (Bathke und Tietz, 2016; Richter, 2024; Steininger und Wurbs, 2023). Durch die Flurneueordnung werden auch Flächen bereitgestellt. Das heißt, der Flächenkauf wird von den Maßnahmenträgern finanziert, die Abwicklung des Flächenerwerbs oder der eigentumsrechtlichen Zuweisung der benötigten bzw. lagegerecht getauschten Flächen erfolgt dann über die Flurneueordnung. Der Wirkungsbeitrag der Flurneueordnung ist insgesamt als indirekt einzustufen, jedoch wichtig, da viele Vorhaben ohne die Flurbereinigung nicht zustande kommen.

Positive Wirkungsbeiträge zum Erosionsschutz (Wasser und Wind) resultieren aus den eingebrachten Biotopelementen und festgeschriebenen Nutzungsänderungen. Die Festschreibung hat den Vorteil, dass die Maßnahmen dauerhaft umgesetzt werden und Bestandteil des Kompensationskonzeptes sind. Damit sind die Maßnahmen Teil der Genehmigung des Plans nach § 41 FlurbG und somit zwingend umzusetzen und basieren nicht auf dem Prinzip der Freiwilligkeit (Richter, 2024; FlurbG). Ein Verfahren, in welchem der Wassererosionsschutz zentral ist, zeigt der folgende Kasten 2.

Kasten 2: Verfahren Gedern-Spießbach

Das Verfahren Gedern-Spießbach im Wetteraukreis wurde 2019 angeordnet. In diesem Verfahren sollen in stärkerem Umfang Erosionsschutzmaßnahmen umgesetzt werden (Richter, 2022).

Das Verfahrensgebiet liegt in der südwestlichen Abdachung des Vogelsberges und weist in den ackerbaulich genutzten Lagen mäßige Hangneigungen bis ca. 12 %, erosionsanfällige Lössböden und große Hanglängen von bis zu über 300 m auf. Hier sollen u. a. hangparallel laufende Wege in einer Breite von 7 bis 9 m neu angelegt werden, die die erosive Hanglänge halbieren und in ihrer Lage eine starke Wirkung zum Erosionsschutz entfalten können.

Im Rahmen der Flurbereinigung können auch bestehende Biotopstrukturen entfernt werden, um die Produktions- und Arbeitsbedingungen zu vereinfachen (Ziel der Flurbereinigung, § 1 FlurbG). Demnach kann die Verortung der ersetzten Hecken und Grünstreifen von der vorherigen Position abweichen. Dies kann sich **negativ** auf die Erosionsschutzwirkung auswirken, wenn die neuen Biotopstrukturen auf weniger stark erosionsgefährdeten Flächen liegen oder sich in einer weniger wirkungsvollen Position im Feldblock befinden. Weitere negative Effekte sind möglich, wenn durch den Rahmen der Flurneuordnung Wege neu gebaut werden, was zu zusätzlichen Bodenversiegelung führt. Da neben den in Tabelle 16 aufgeführten Daten keine Daten zur versiegelten Fläche in den Verfahrensgebieten vorliegen, kann dies nicht quantifiziert werden.

Im Vergleich zu anderen Landnutzungsänderungen und Maßnahmen ist für den **Kohlenstoffeintrag in den Boden** die dauerhafte Umwandlung von Ackerland in Grünland am effektivsten (Lugato et al., 2014). Bei der Umwandlung in Dauergrünland, üblich als Teil der Maßnahmen der Flurneuordnung, ist langfristig von einem Kohlenstoffaufbau auszugehen, d. h. es handelt sich um klimawirksamen Kohlenstoffaufbau (Wüstemann et al., 2023; Poeplau et al., 2011). Langfristig kann dadurch ein mittlerer C_{org} -Aufbau von 0,73 t/ha*a erzielt werden, der zwischen 0,4 bis 0,8 t C_{org} /ha*a schwanken kann (Wiesmeier et al., 2020; Lugato et al., 2014). Die Zusammensetzung der Bodenbedeckung, d. h. die Wahl der eingesäten Mischung, ist dabei nicht nur für die Biodiversität ein nennenswerter Wirkungsfaktor (EU-KOM, 2017; Lenka und Fernández-Gentino García, 2021). Besonders das Einsäen von Gräsern bewirkt langfristig einen Eintrag von 3,04 t C_{org} /ha*a (Conant et al., 2001). Im Großteil der ausgewählten Verfahrensgebiete der vergangenen Förderperiode wurden Gewässerrandstreifen als flächenhafte Biotopstrukturen umgesetzt (s. o.) (Bathke und Tietz, 2016). Das stellt die positive Bedeutung dieser Maßnahme für die Kohlstoffspeicherung im Boden dar. Eine genauere Auswertung und Quantifizierungen des zusätzlichen Kohlenstoffeintrags in den Boden wurden nicht vorgenommen, da für die aktuelle FP keine konkreten Daten vorlagen.

Insgesamt ließ sich aus den Angaben ableiten, dass die Effekte der Flurbereinigung für den Wassererosionsschutz sowie zur Kohlenstoffspeicherung im Boden im Rahmen der Flurbereinigung eine untergeordnete Rolle spielten und die Wirkungen als indirekt gering positiv einzustufen sind. Der Vorteil ist, dass die eingebrachten Strukturen als dauerhafte Strukturen konzipiert sind und dadurch eine hohe angenommene lagetreue Verweil- und Wirkungsdauer aufweisen.

Mitnahmeeffekte sind bei dieser Maßnahme nicht identifiziert worden, da Flurbereinigungsverfahren nicht ohne eine öffentliche Förderung umgesetzt werden (fehlende Personalkapazitäten, Flächeneigentümer stimmen häufig Naturschutzgroßprojekten nur dann zu, wenn eine Flurneuordnung zugesichert wird) (Bathke und Tietz, 2016).

5.4.2 Investitionen in kleine Infrastrukturen, erneuerbare Energien und Energieeinsparungen

Der Bericht von Bathke (2020) wertet die Teilmaßnahme umfangreich auch anhand von Fallstudien aus, weshalb sich dieses Kapitel auf diesen Bericht bezieht. Durch die Teilmaßnahme 7.2 werden Investitionen in kleine Infrastrukturen, erneuerbare Energien und Energieeinsparungen auf Grundlage der Nationalen Rahmenregelung (BMEL, 2019a) sowie der Richtlinie der Infrastrukturmaßnahmen (FiRiLi 2015) gefördert. Gemäß der Richtlinie ist ein Neubau der Wege, die Befestigung vorhandener, nicht oder nicht ausreichend befestigter Wege im ländlichen Raum, einschließlich der dazugehörigen Kreuzungsbauwerke und erforderlicher Nebenanlagen und die Schaffung von Wegeersatzmaßnahmen förderfähig. Wirkungsfaktoren zum Bodenschutz werden durch den Straßenausbau und die Regulierung von Abflussverhältnissen beeinflusst.

Tabelle 17 zeigt die Merkmale der 99 geförderten Infrastrukturvorhaben, die auf Angaben der Ämter für Bodenmanagement (AfB) bis einschließlich Ende 2023 beruhen.

Tabelle 17: Merkmale der investiven Vorhaben in kleine Infrastrukturen

Merkmal	Wert	Einheit
Anzahl Projekte ¹⁾	99	n
davon Wegebauprojekte	82	n
davon Ersatzbrückenbau, Kreuzungsbauwerke	17	n
Länge der insgesamt ausgebauten Wege	127,6	km
davon Wege auf neuer Trasse	0	km
davon mit Verbreiterung um max. 50 cm	64,5	km
davon mit Verbreiterung um > 50 cm bis 1 m	3,7	km
Ausbauart		
vorher: Asphalt oder teilweise Asphalt	114,2	km
nachher: Asphalt	123,1	km

1) Wegeprojekte wurden zusammengefasst, wenn sie in zwei aufeinanderfolgenden Jahren abschnittsweise ausgebaut wurden.

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben der Ämter für Bodenmanagement (AfB) 2016 bis 2024.

Mit 83 % der Vorhaben nehmen Wegebauprojekte den Großteil der geförderten Infrastrukturen ein. Ein Neubau auf neuer Trasse ist nicht gefördert worden (vgl. Tabelle 17). Prinzipiell hat in Hessen bei der Wege-Bauweise ein Neubau mit geringen Versiegelungsgraden Priorität. Ungefähr die Hälfte der ausgebauten Wege mit einer Gesamtlänge von rund 128 km wurde um maximal 50 cm verbreitert. Die Wegeverbreiterungen nehmen ca. 3 % der ausgebauten Wegstrecke ein. Bei diesen Verbreiterungen war bei den meisten Wegen von einer vorherigen unzureichenden Breite (3 m) auszugehen, welche für die Befahrung von modernen Landmaschinen nicht ausreichend ist. Um die Seitenränder zu befahren, waren sie bereits geschottert oder durch Begegnungsverkehr stark verdichtet. Demnach ist in diesen Fällen von keiner starken Beeinträchtigung der Böden (mehr) und auch keiner negativ wirkenden Versiegelung auszugehen.

Nach Auswertungen von Bathke (2020) hatten die geförderten Vorhaben **positive Auswirkungen** für den Erosionsschutz. Mit einem Ausbau von Straßenseitengräben und dem Erneuern von Durchlässen etc. konnte bei Vorhaben das Niederschlagswasser gezielt abgeleitet werden. Bei gegebener Hangneigung kann somit die Entstehung von Rinnenerosion durch unkontrolliert abfließendes Oberflächenwasser verhindert werden. Das wirkt sich wiederum positiv auf die Bodenbewirtschaftung aus.

Mitnahmeeffekte sind bei dieser Maßnahme nicht identifiziert worden, da nach Ergebnissen der Fallstudien kaum eine Gemeinde ohne die Förderung in der Lage gewesen wäre, die Ausbaumaßnahmen umzusetzen (Bathke, 2020).

5.4.3 Bodenschutzkalkung

Dieses Kapitel stützt sich auf die Angaben aus den Berichten v. a. von Rorig (2024) und Franz (2019).

Beiträge zum Bewertungskriterium der vereinfachten Bodenbewirtschaftung sind von der Bodenschutzkalkung aufgrund der Stabilisierung des Nährstoffkreislaufs auf Forstflächen zu erwarten.

Die Bewertung der Bodenschutzkalkung (TM 8.5) hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Schutzgut Boden muss den zeitlichen Verzug zwischen der Durchführung der Maßnahme und dem Eintritt der Wirkung berücksichtigen. Dem Problem der langen Wirkzeiträume kann in Forschungsprojekten durch das Heranziehen relativ langer Zeitreihen

begegnet werden. Da dies im Rahmen der Evaluation nicht möglich ist, wurde auf die Analyse von Literaturangaben und Förderdokumenten zurückgegriffen. Auf dieser Grundlage können kausale Wirkungsketten aufgebaut werden, die eine qualitative Einschätzung der Maßnahmenwirkungen ermöglichen.

Im Rahmen der ELER-Förderung wurden Bodenschutzkalkungen in den Förderperioden ausschließlich im Privatwald sowie im Kommunal- bzw. Körperschaftswald umgesetzt; Staatswaldflächen wurden nicht über ELER-Mittel gefördert (HMUKLV, 2015). Die finanzielle Umsetzung der forstlichen Maßnahmen in Hessen umfassen die Ausgaben für beendete und teilausgezahlte Vorhaben der Jahre 2015 bis einschließlich 2022. Die zu Beginn der Förderperiode festgelegten indikativen Ausgaben (14 Mio. Euro) wurden trotz der zweijährigen Verlängerung der Förderperiode von 2020 auf 2022 nach auf 6 Mio. Euro unten korrigiert (HMUKLV, 2021a). Gemessen an den ursprünglichen Zielen wurden 35 % der geplanten Ausgaben für die Bodenschutzkalkung verausgabt. Auch die nach unten korrigierten Ausgabenziele wurden bis 2022 nicht erreicht (Bodenschutzkalkung: 81 % vom Soll) (ebd.).

Beim Monitoring werden die analysierten und gekalkten Flächen zusammen angegeben. Damit kann es zu einer Doppelzählung der Flächen kommen. Demnach werden für den Bericht nur die tatsächlich gekalkten Flächen herangezogen, die unter dem Monitoringwert (21.669 ha für den Zeitraum ab 2015 bis 2023, HMLU, 2024c) liegen. Insgesamt wurden in den Jahren 2015 bis 2022 rund 15.300 ha Waldfläche gekalkt. Für die Programmlaufzeit war ursprünglich für die Bodenschutzkalkungen eine zu erreichende Fläche von 70.000 ha und 400 Vorhaben formuliert (vgl. Tabelle 18) (HMUKLV, 2015). Dieses Ziel wurde trotz der zweijährigen Verlängerung der Förderperiode später auf 21.000 ha und 130 Vorhaben deutlich nach unten korrigiert (durch restriktivere Zuwendungsvoraussetzungen, wie Ausschluss- und Pufferflächen) (HMUKLV, 2021a). Gemessen an den ursprünglichen Zielen wurden nur 22 % der geplanten Fläche gekalkt. Anhand der korrigierten Ziele lag der Zielerreichungsgrad bei 73 % der Förderfläche.

Tabelle 18: Ist- und Soll-Output der Bodenschutzkalkung (TM 8.5) 2015 bis 2022

SOLL 2015-2020*		SOLL 2015-2022**		IST 2015-2022		SOLL-IST-Vergleich 2015-2022	
Förderfläche	Anzahl Vorhaben	Förderfläche	Anzahl Vorhaben	Förderfläche	Anzahl Vorhaben	Förderfläche	Anzahl Vorhaben
[ha]	[n]	[ha]	[n]	[ha]	[n]	[%]	[%]
70.000	400	21.000	130	15.327	54	73	42

* Programmversion 1.5 (2015)

** Programmversion 7.1 (2021)

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Landesdaten (HMUKLV, 2023a) sowie Angaben der Programme (Versionen 1.5 und 7.1) (HMUKLV, 2021a, 2015).

Die Notwendigkeit von Bodenschutzkalkungen muss standortspezifisch beurteilt werden, insbesondere in Naturschutzgebieten. In Hessen wurde dieser Forderung in der Förderrichtlinie dadurch entsprochen, dass Bodenschutzkalkungen nur förderfähig sind, wenn sie auf der Grundlage einer gutachtlichen Stellungnahme erfolgen, und besonders empfindliche Bereiche von der Förderung ausgeschlossen sind (analysierte Flächen). Die entsprechenden Gutachten standen der Evaluation nicht zur Verfügung. Daher konnte weder die Notwendigkeit der durchgeführten Bodenschutzkalkungen noch deren spezifische Wirkung beurteilt werden. Mögliche Wirkungen der Bodenschutzkalkungen sind daher nur allgemein beschrieben.

Die Resilienz der Wälder wird maßgeblich vom Zustand des Bodens beeinflusst. So wird die Vitalität durch das pflanzenverfügbare Wasserangebot und durch die physikalische, chemische und die mikrobiologische Beschaffenheit des Bodens bestimmt (BMEL, 2021c). Der wichtige Pflanzenbestandteil Stickstoff wird in naturnahen Vegetationen zwischen Boden und Pflanze in einem Kreislauf gehalten. Sickerwasserverluste des Stickstoffs werden mittels Aufnahme durch die Luft kompensiert. In der Regel befindet sich dieser Kreislauf im Wald in einem Gleichgewicht. Bei Unterbrechung des Kreislaufes oder durch erhöhte Stickstoffeinträge (zum

Beispiel aufgrund von Luftverschmutzung) kann ein Ungleichgewicht im Boden entstehen. Die Folge ist ein erhöhter Nitratreintrag in das Grundwasser. Besonders anfällig für solche Störungen sind Nadelwälder, da auch im Winter partikulär gebundener Stickstoff aus der Luft gefiltert wird und der tendenziell saurere Boden unter Nadelwäldern im Vergleich zum Laubwaldboden schlechter in der Lage ist, Stickstoff aufzunehmen (Hegg et al., 2004).

Bei den in den vergangenen Jahren aufgetretenen und anhaltenden Waldschäden stellt sich die Frage, ob diese nicht nur durch die Trockenheit, sondern auch durch die unnatürlich versauerten Waldböden verursacht wurden (Wilpert et al., 2020).

Durch die Bodenschutzkalkung gelangt Stickstoff im reduzierten Zustand als Ammonium in die Waldböden und kann als oxidiertes Nitrat ausgewaschen oder in Biomasse umgesetzt. Die oberflächliche Aufbringung von Kalk belebt zunächst die Organismen in der Streu und im oberen Mineralboden. Dadurch wird der Abbau der Streu durch Bakterien, Pilze, Würmer, Käfer und anderen Tieren erhöht und es werden Nährstoffe freigesetzt. Diese Nährstoffe sowie die Calcium- (Ca) und Magnesium- (Mg) Anteile des Kalkungsmaterials füllen die Reserven des Bodens (wieder) auf und machen die durch den niedrigen pH-Wert gelösten Aluminiumionen unschädlich.

Angesichts der nur langsam zu erwartenden natürlichen Bodenerholung wird die Kalkung von Waldböden als wirksame Gegenmaßnahme betrachtet, um die Auswirkungen der Bodenversauerung zu mildern. Die Verfügbarkeiten der drei Elemente Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Kalium (K) gelten als Indikatoren für die Bodenversauerung und damit auch als Indikatoren für den Kalkungsbedarf (Wilpert et al., 2020). Bei der Kalkung erfolgt die Anwendung von Pufferverbindungen, insbesondere von Kalkstein (Calciumcarbonat $[\text{CaCO}_3]$, Kalkstein und Dolomit $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$), um versauerte Böden zu regenerieren (Jansone et al., 2020). Informationen zu diesen Indikatoren lagen für die gekalkten Waldflächen in Hessen nicht vor.

Die Topografie des Einzugsgebietes ist ausschlaggebend für die Effektivität einer Kalkung. Auf flacheren Hängen, Verebnungen und Akkumulationslagen sind Kalkungen im Allgemeinen effektiver, da hier langsamere Bodenwasserflüsse vorherrschen. Zu einer raschen Auswaschung hingegen führen steile Hänge, durch die hohen Fließgeschwindigkeiten lateraler Abflüsse. Durch schnelle Auswaschung des Kalkes aus den Bodenzonen kann hier der Kalkungseffekt gering ausfallen (Sucker et al., 2009).

Aufgrund der Kalkungen steigt der pH-Wert des Bodenwassers (Wasser in den Porenräumen des Bodens) an, und seine Säureneutralisationskapazität nimmt zu. Nach einer Kalkung stark saurer Böden reduzieren die Oxide und die gesteigerte mikrobielle Aktivität die Sulfatkonzentration im Bodenwasser, was gleichzeitig zu einer Verringerung der Konzentration von Metallionen, insbesondere von Aluminium, im Sickerwasser führt (Puhlmann et al., 2021).

Kalkungen bergen jedoch auch Risiken durch die Aktivierung biologischer Prozesse. Die Anhebung des pH-Wertes im Auflagehumus führt zu dessen verstärkter Mineralisierung und zur Zunahme der Konzentration organischer Kohlenstoffverbindungen sowie von Nitrat im Bodenwasser. Im Extremfall kann das zu einer Auswaschung und somit zu einer Grund- und Oberflächenwasserbelastung führen. Des Weiteren kann es zu einer temporären Verflachung der Feinwurzeln kommen, die durch verbesserte Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden ausgelöst wird (Puhlmann et al., 2021).

Bei den freigesetzten Nährstoffen wird auch der Kohlenstoff thematisiert. Im Vergleich der Ergebnisse der Bodenzustandsbewertungen im Zeitraum von 1992 und 2007 haben die **Kohlenstoffvorräte** in den Waldböden Hessens moderat um 10 % zugenommen. Hieraus ergeben sich Hinweise auf einen positiven Einfluss der Waldkalkung auf den Kohlenstoffhaushalt. Da die Ergebnisse zu den Kohlenstoffvorräten erheblichen Variabilitäten und Unsicherheiten hinsichtlich der Quantifizierung unterliegen, müssen die Ergebnisse mit großer Vorsicht interpretiert werden (Paar et al., 2016). Aktuelle Forschungsergebnisse (2023) zeigen, dass die

Kohlenstoffsequestrierung weder in der oberirdischen noch in der unterirdischen Biomasse infolge der Waldkalkung gesteigert wurde. Über das gesamte Bodenprofil hatte die Kalkung keinen nachweislichen Effekt auf die Kohlenstoffvorräte. In der Humusaufgabe hat sich der Kohlenstoffvorrat zudem signifikant verringert. Zudem sind die Auswirkungen auf die Kohlenstoffvorräte im Boden stark standortabhängig. Entscheidende Faktoren sind der pH-Wert und seine Veränderung (zurückzuführen auf die Kalkmenge), Sandgehalt und der Kohlenstoffgehalt im oberen Mineralboden (NW-FVA, 2023). Auch andere Quellen geben einen abnehmenden Gehalt an organischem Material im Oberboden nach der Kalkung an (Jansone et al., 2020). Demnach sind die Effekte generell als gering positiv einzustufen, allerdings wird in diesem Bericht aufgrund der Unsicherheiten und der Standortvariabilität nicht weiter auf die Kohlenstoffwirkung eingegangen.

Auf Basis literaturbasiert nachvollzogenen Wirkungsketten ist von einem positiven Effekt der Bodenschuttkalkung auf die Bodenqualität auszugehen. Eine Einschätzung der Wirkung der Bodenschuttkalkung auf den geförderten Flächen ist mangels vorliegender Informationen nicht möglich. Mitnahmeeffekte spielen für die Bodenschuttkalkung keine Rolle, da sie von der Gesellschaft verursachte Schäden ausgleicht (Franz, 2019).

5.4.4 Vielfältige Kulturen im Ackerbau

Die Teilmaßnahme wurde basierend auf den Vorgaben der Nationalen Rahmenregelung (BMEL, 2019a) im EPLR angeboten und weist die in Tabelle 19 aufgeführten Förderbestimmungen entsprechend der HALM-RL auf (HALM-RL 2015).

Tabelle 19: Förderbestimmungen Vielfältige Kulturen im Ackerbau

HALM RL 2015	
Vielfältige Kulturen im Ackerbau	
Fördergegenstand	jährlich mind. 5 verschiedene Hauptfruchtarten, mit Anteil von mind. 10 % bis max. 30 % des AL Wenn > 5 Hauptfruchtarten: Berechnung der Mindestanteile durch Zusammenfassung der Hauptfruchtarten zulässig
Leguminosenanteil	mind. 10 % des AL beim Anbau von Gemengen, die Leguminosen enthalten, max. 40 % des AL
Getreideanteil	max. 66 % des AL
Jährliche Zuwendung	90 Euro/ha konv., 55 Euro/ha ÖKO Großkörnige Leguminosen mind. 10%: 110 Euro/ha konv., 75 Euro/ha ÖKO
Bagatellgrenze	50 Euro/Jahr (= ca. 0,6 ha konv., 0,9 ha ÖKO)

AL = Ackerland, ÖKO = Ökologischer Landbau (11.1/11.2)

Quelle: (HALM-RL 2015).

Weitere Angaben zur Ausgestaltung der Maßnahme und ihrer Inanspruchnahme sind dem Bericht von Roggendorf et al. (2024) zu entnehmen.

Die Hauptwirkung der VK-Förderung für den Bodenschutz und die Kohlenstoffspeicherung im Boden geht von dem in die Fruchtfolge zu integrierenden Leguminosenanteil von mindestens 10 % des Ackerlandes aus. Die Teilmaßnahme konnte auch mit dem Ökolandbau kombiniert werden. Da Leguminosen zur klassischen Fruchtfolge beim Ökolandbau gehören, wurde folgerichtig ein reduzierter Fördersatz angesetzt (VO (EG) Nr. 834/2007; VO (EU) 2018/848). Leguminosen können durch ein spezielles Mikrobiom Luftstickstoff im Boden

fixieren, welcher wiederum der Nachfrucht zur Verfügung steht und dadurch die Notwendigkeit zum Einsatz von synthetischen N-Dünger reduziert (Klimaschutzaspekt, Menge der Einsparung abhängig von der Leguminosenart (Watson et al., 2017; Skadell et al., 2023). Einige Leguminosenarten können aufgrund tiefer Wurzelsysteme (> 1,5 m) den Boden auflockern, was wiederum die Bodenstruktur verbessert und mehr SOC in den Unterboden einbringt (Böhm et al., 2020; Skadell et al., 2023).

Durch die Integration der Leguminosen wird auch die Fruchtfolge erweitert. Die Fruchtfolge ist entscheidend für den Humusgehalt und bestimmt die oberirdisch und unterirdisch produzierte Biomasse (Poeplau und Don, 2015; Körschens et al., 2005; Wüstemann et al., 2023). Die Menge an organischer Substanz (Düngung, Ernte- und Wurzelreste) ist wichtig für die Steuerung der Zufuhr an organischer Substanz in den Boden (Wessolek et al., 2008; Drexler et al., 2020). Mit einer breiten Fruchtfolge (Zwischenfruchtanbau, Deckfrüchte, mehrjährige Kulturen) kann der SOC-Vorrat erhöht werden, wenn bei den angebauten Kulturen auf eine geeignete Kombination von sich ergänzenden Wurzelsystemen (vor allem Tiefwurzler), Wachstumsperioden und Bodenbedeckung geachtet wird (Dynarski et al., 2020). Die SOC-Anreicherung, die Aggregatstabilität und die mikrobielle Aktivität werden durch eine abwechslungsreiche Fruchtfolge erhöht und die SOC-Verluste reduziert (Peng et al., 2023; Tiefenbacher et al., 2021). Diversifizierte Fruchtfolgen können das Kohlenstoff-Sequestrierungspotenzial im Oberboden (0 bis 20/30 cm) um $216 \pm 117 \text{ kg C/ha*a}$ erhöhen (Tiefenbacher et al., 2021). Dies ist abhängig von der Gestaltung der Fruchtfolge und den Sequestrierungsraten der jeweiligen Kultur, welche zwischen 0,15 bis 0,36 t C/ha*a liegt (Wiesmeier et al., 2020). Der Zuwachs an C_{org} im Boden erfolgt dabei degressiv, bis das neue Gleichgewicht erreicht ist, d. h. die Zuwachsraten sind am Anfang höher als am Ende (Seitz et al., 2022; Lugato et al., 2014).

Quantifizierung der Kohlenstoffspeicherung im Boden

Der Einfluss des Anbaus vielfältiger Kulturen im Ackerland auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden wurde wie in Kapitel 4 beschrieben durch die vereinfachte Humusbilanz der Fruchtfolge kalkuliert (VDLUFA, 2014). Die Wirkung ist im Vergleich zur kontrafaktischen Situation ohne Förderung zu interpretieren. Zentral sind dabei die angebauten Kulturarten auf den geförderten Ackerflächen.

In den folgenden Bewertungen ist zu beachten, dass unter den Betrieben mit VK-Förderung viele Ökobetriebe sind, die auch ohne VK-Förderung eine andere Fruchtfolge als konventionelle Betriebe haben. Daher unterscheidet sich die Wirkung der VK-Förderung in Ökobetrieben und konventionellen Betrieben. Dies wird durch die Auswertung der Betriebe mit einer Kombination aus beiden Maßnahmen in einem separaten Unterkapitel und die Angabe der betrachteten Gruppe verdeutlicht.

Die Ergebnisse unterteilen sich in die separaten Auswertungen der Jahre 2016 und 2022 (als Vorher-Nachher- bzw. Mit-Ohne-Vergleich) sowie in die Auswertungen als DiD-Vergleich. Es kam die gesamte InVeKoS-Förderfläche der ausgewählten Jahre zur Anrechnung. Bei der Betrachtung der beiden Einzeljahre fällt auf, dass die Summe der vereinfachten Humusbilanzen bei den Betrieben mit VK-Förderung in beiden Jahren positiver ausfällt (Spaltenziffer 1), als in Betrieben ohne VK-Förderung. Dies deutet auf eine stärker humusmehrende Bewirtschaftung hin (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 20: Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2016 und 2022, Unterscheidung für Betriebe mit und ohne VK-Förderung

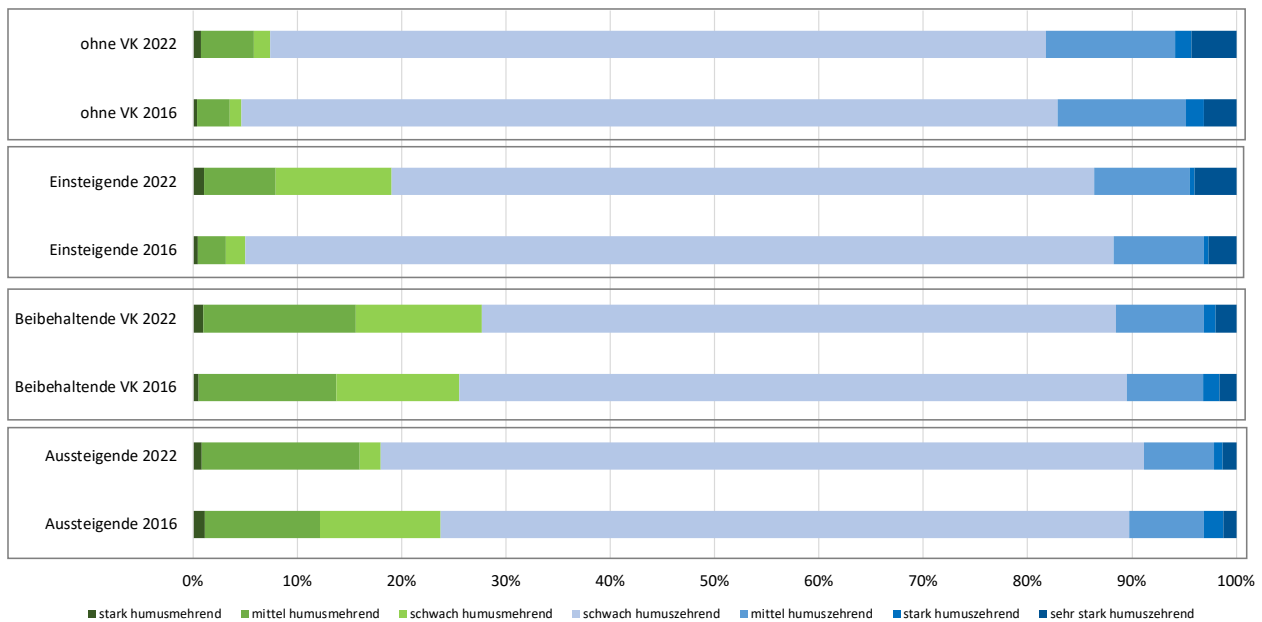
Jahr	Förderung für den Anbau vielfältiger Kulturen im Ackerbau	Anzahl Betriebe	Ackerfläche	Humusreproduktionsleistung [Häq/ha*a]			(4) Netto des gewichteten Mittelwertes der Flächen mit VK-Förderung im Vergleich zu Flächen ohne VK-Förderung
				(1) Summe	(2) Mittelwert	(3) Mittelwert gewichtet	
		[n]	[ha]				
2022	ohne	11.227	348.190	1.351.495	59,3	3,9	59,5
	mit	772	77.798	4.927.609	75,1	63,3	
2016	ohne	13.403	412.710	32.110.181	91,3	77,8	55,5
	mit	244	18.806	2.506.746	140,9	133,3	

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS-Daten (2016, 2022) und VDLUFA-Werten (2014) sowie Werten aus Poeplau und Don (2015) und Kolbe und Zimmer (2015).

Die Mittelwerte der Humusreproduktionsleistung pro Hektar (Spaltenziffer 2) zeigen eine deutlich positivere Humusbilanz auf den Flächen VK-Förderung als ohne. Werden die flächengewichteten Mittelwerte (Spaltenziffer 3) betrachtet, bei denen einzelne Betriebe nicht „durchschlagen“, zeigt sich dieselbe Tendenz mit größeren Differenzen (vgl. Netto-Werte der geförderten Betriebe im Vergleich zur Situation ohne VK-Förderung, Spaltenziffer 4). Durch die Integration der Leguminosen in die Fruchtfolge wird der Anteil humusmehrender Kulturen erhöht und in der Theorie der Anbauanteil anderer humuszehrender Kulturen dafür vermindert (weiteres dazu siehe übernächster Abschnitt). 2016 waren die flächengewichteten Mittelwerte (Spaltenziffer 3) der Humusbilanzen beider betrachteten Gruppen deutlich größer als 2022. Dies ist auf den hohen Flächenanteil von Raps im Jahr 2016 im Vergleich zu 2022 zurückzuführen, welcher mit einem sehr hohen Strohertrag humusmehrend wirkt. Im Vergleich zu nicht durch VK geförderte Flächen resultiert bei den Betrieben mit VK-Förderung (Spaltenziffer 4) eine Festlegung bzw. Einsparung von Kohlenstoff von ca. 60 Humusäquivalenten/ha*a im Jahr 2022. Der Humussaldo der VK-Förderfläche (gewichteter Mittelwert 2022, Spaltenziffer 3) ist nach der VDLUFA als „ausgeglichen“ zu bewerten, was bedeutet, dass kein Handlungsbedarf für die Betriebe zur Veränderung ihrer Bewirtschaftung (z. B. Anbau anderer Fruchtarten) besteht und der Humusabbau durch die Humuszufuhr in der Fruchtfolge ausgeglichen wird (grobe Annäherung, Prämisse: Wertung als integriert wirtschaftender Betrieb ohne Berücksichtigung der organischen Düngung). Bei den Betrieben mit VK-Förderung 2016 liegt auf den Förderflächen schon ein „hohes“ Humussaldo vor, was nur mittelfristig als tolerierbar zu bewerten ist. Hier muss eine ausgeglichene Bilanz angestrebt werden (VDLUFA, 2014: Tabelle 3a).

Werden die angebauten Fruchtarten entsprechend ihrer Humusreproduktionsleistung in humusmehrende und humuszehrende Gruppen sortiert (Einteilung im Anhang, vgl. Tabelle A1 und Tabelle A2), zeigt sich ein etwas genaueres Bild, welche Fruchtarten bei den beiden Betrieben mit und ohne VK-Förderung im Fokus standen (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2016 und 2022 aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne VK-Förderung (Flächenanteile in Prozent)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der InVeKoS-Daten (2016, 2022).

Die Betriebe ohne VK-Förderung zeigten in den Jahren 2016 und 2022, genauso wie in die VK-Förderung einsteigenden Betriebe 2016, die höchsten Flächenanteile humuszehrender Fruchtarten (zwischen 81 und 95 %). Bei einem Umstieg auf die VK-Förderung (2016 keine VK-Förderung, VK-2022 Förderung) wurden die Anteile der humuszehrenden Kulturen, wozu v. a. Getreide und Mais zählen, reduziert. Dies ist auf die Förderbedingungen von max. 66 % Getreide am Ackerland zurückzuführen. Als Ausgleich wurde der Anteil schwach und mittel humusmehrender Kulturen erhöht. Auch hier ist ein Bezug zur Förderbedingung des Leguminosenanbaus auf mindestens 10 % des Ackerlandes sichtbar. Betriebe, welche durchgehend eine VK-Förderung erhielten, wiesen die höchsten Anteile von 25 bis 27 % humusmehrender Kulturen auf. Bei einem Ausstieg aus der Förderung⁷ wurde der hohe Anteil schwach humusmehrender Kulturen (Körnerleguminosen), welche durch die erhöhte Förderprämie vermehrt angebaut wurden, durch schwach humuszehrende Kulturen (Getreide, Öl- und Faserpflanzen) substituiert.

Kombinierte Inanspruchnahme Vielfältige Kulturen und Ökolandbau

Die VK-Förderung war auch für ökologisch wirtschaftende Betriebe mit einem reduzierten Fördersatz zur Beantragung geöffnet (HALM-RL 2015). Im Folgenden sind die Ergebnisse aus dem Akzeptanzbericht von Roggendorf et al. (2024) dargestellt, die den Zusammenhang zwischen der VK-Förderung und der Ökoförderung zeigen.

Um Aussagen zur Anpassung der Fruchtfolge durch die VK-Förderung in Ökobetrieben vornehmen zu können, wurden verschiedene Betriebsgruppen untersucht: teilnehmende bzw. neueinsteigende VK- und Ökobetriebe, nicht-teilnehmende VK- und Ökobetriebe sowie aussteigende Betriebe (die 2015 VK-Förderung erhielten und 2020 aus der Förderung ausgestiegen sind).

Annähernd die Hälfte des im Rahmen der ÖKO-Förderung erreichten Ackerlandes wurde 2020 zusätzlich durch VK gefördert (22.313 ha, entspricht 49 % des ÖKO-AL, 27,5 % des gesamten VK-AL) (vgl. Tabelle 21). Der Anteil

⁷ Es gilt zu berücksichtigen, dass bei der Betrachtung eines Einzeljahres die Betriebe als aussteigend gelten, wenn sie in dem Jahr keine Förderung erhalten haben. Die Zwischenjahre wurden nicht ausgewertet.

der teilnehmenden Ökobetriebe, die bereits 2015 ökologisch wirtschafteten, lag bei 38 %. 20 % des ökologisch bewirtschafteten Ackerlandes wurde von Betrieben bewirtschaftet, welche eine VK-Förderung erhielten.

Tabelle 21: Teilnehmende an Vielfältige Kulturen im Jahr 2020 – Charakterisierung anhand von Betriebskennziffern

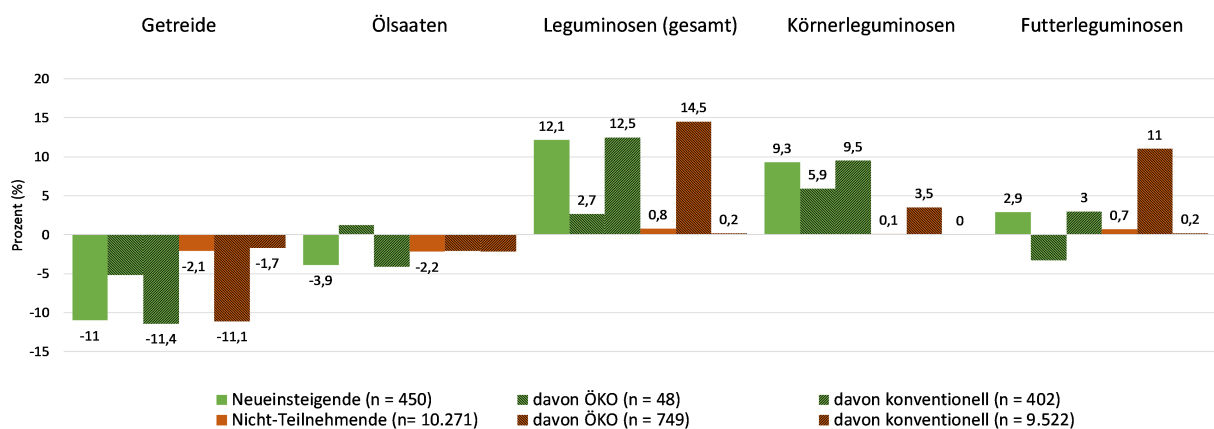
		Betriebsgrößenklasse nach Ackerland (Hektar)						Gesamt	davon ÖKO	davon konventionell
		< 10	≥ 10 bis < 20	≥ 20 bis < 50	≥ 50 bis < 100	≥ 100 bis < 200	≥ 200			
geförderte Betriebe										
Anzahl Betriebe	n	20	63	249	287	217	79	915	310	605
Fläche VK je Betrieb	∅ ha	7,1	14,6	33,2	69,1	130,5	298,8	88,6	72,0	97,2
Fläche VK	Σ ha	142	917	8.275	19.819	28.328	23.608	81.090	22.313	58.777
Landwirtschaftliche Fläche (LF)	∅ ha	21,6	34,7	60,2	105,7	173,0	350,3	123,7	113,3	129,0
Anteile an LF										
davon										
Dauergrünland	∅ %	65,5	55,5	41,2	30,9	20,1	9,1	23,9	33,8	19,5
Ackerland	∅ %	34,4	44,3	58,6	68,9	79,7	90,8	75,8	65,9	80,3

Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage der InVeKoS-Daten 2020.

Um die Förderauflagen zu erfüllen, wurden von den gesamten teilnehmenden Betrieben (ÖKO und konventionell) im Mittel neun Kulturen angebaut. Dies entspricht einem breiteren Anbauspektrum als bei den gesamten nicht-teilnehmenden Betrieben (ÖKO und konventionell) mit rund fünf Kulturen. Die teilnehmenden konventionellen und ökologischen Betriebe unterschieden sich in den kleinen Betriebsgrößenklassen bis 100 ha hinsichtlich der Anzahl der angebauten Fruchtarten kaum. Erst die teilnehmenden Ökobetriebe mit großer Ackerfläche (ab 100 ha) wiesen mit durchschnittlich ein bis zwei Kulturen mehr eine nochmals größere Anbauvielfalt auf als die konventionellen Betriebe.

Die teilnehmenden Konventionellen stellten im Vergleich zu den nicht-teilnehmenden konventionellen Betrieben nachweislich ihre Anbaustruktur um (vgl. Abbildung 6). Besonders die Leguminosenanteile, vor allem die Körnerleguminosen, wurden erhöht (plus neun Prozentpunkte) wohingegen die Getreideanteile verringert wurden (minus 11 Prozentpunkte).

Abbildung 6: Vielfältige Kulturen – Veränderung der Anbauanteile der teilnehmenden und nicht-teilnehmenden Ökobetriebe und konventionellen Betrieben von 2015 zu 2020



Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage der InVeKoS-Daten 2015 und 2020.

Für die untersuchten Ökobetriebe mit VK-Förderung konnte herausgearbeitet werden, dass sie im Vergleich zu den Ökobetrieben ohne VK-Förderung die Anbauverhältnisse konträr zu den Förderbedingungen und den damit

erwünschten Umwelteffekten veränderten: Teilnehmende Ökobetriebe erhöhten zwar relativ den Flächenanteil der Leguminosen insgesamt im Mittel um 2,7 Prozentpunkte, wohingegen die nicht-teilnehmenden Ökobetrieben den Anteil deutlich stärker um 14,5 Prozentpunkte erhöhten. Der Leguminosenanteil nahm also in Ökobetrieben ohne VK-Förderung mehr zu als in Ökobetrieben mit VK-Förderung.

Aus dem Vergleich der Kulturartenzahl und Anbauanteile der Ökobetriebe mit und ohne VK-Förderung ist zu schließen, dass die Kombination der Auflagen zu einer deutlichen Anpassung der Anbaustruktur beim Einstieg in die Fördermaßnahme geführt hat. Diese Anpassungen waren im Hinblick auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden nicht zielführend, da die Körnerleguminosenanteile mit geringer Humuswirkung erhöht und dafür die Futterleguminosenanteile mit größerer Humuswirkung reduziert wurden. Nur 2 % der nicht-teilnehmenden Betriebe (Ökobetriebe und konventionell) hätten die Auflagen per se erfüllen können. Die Verpflichtung zur Einhaltung eines 10 % Leguminosenanteils am Ackerland entfaltete bei den Ökobetrieben daher keine Lenkungs-kraft in die Richtung einer verstärkten Kohlenstoffspeicherung im Boden.

Einige Ökobetriebe, welche 2015 für die Maßnahme eine Förderung erhielten, stellten nach dem Auslaufen der VK-Förderung ihre Anbaustruktur wieder um (selbe Betriebs-ID, Daten von 2020). Dabei war die Tendenz bei den Ökobetrieben umgekehrt zum Einstieg in die VK-Förderung (gegenüber den neueinsteigenden Ökobetrieben); die Körnerleguminosenanteile wurden verringert, Futterleguminosen deutlich erhöht sowie die Getreideanteile verringert.

Um die Wirkungen in Bezug auf die Humusspeicherung im Boden zu quantifizieren, wurden auch für Betriebe mit und ohne Kombination mit dem Ökologischen Landbau vereinfachte Humusbilanzen kalkuliert, welche jeweils in den letzten beiden Zeilen in den Jahren dargestellt (**Fettdruck**) sind (Tabelle 22).

Tabelle 22: Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2016 und 2022, Unterscheidung mit und ohne Förderung von VK und ÖKO

Jahr	Maßnahmen-kombination	Anzahl Betriebe [n]	Ackerfläche [ha]	Humusreproduktionsleistung [Häq/ha*a]			
				(1) Summe	(2) Mittelwert	(3) Mittelwert gewichtet	(4) Differenz: Mittelwert gewichtet zu Betrieben ohne VK, ohne ÖKO
2022	ohne VK, ohne ÖKO	11.227	348.190	1.351.495	59,3	3,9	-
	mit VK, ohne ÖKO	772	77.798	4.927.609	75,1	63,3	59,5
	mit VK, mit ÖKO	336	25.710	4.542.926	190,6	176,7	172,8
	ohne VK, mit ÖKO	1.126	22.350	5.762.819	323,4	257,8	254,0
2016	ohne VK, ohne ÖKO	13.403	412.710	32.110.181	91,3	77,8	-
	mit VK, ohne ÖKO	244	18.806	2.506.746	140,9	133,3	55,5
	mit VK, mit ÖKO	175	11.787	2.466.937	215,9	209,3	131,5
	ohne VK, mit ÖKO	792	14.216	3.505.491	293,0	246,6	168,8

ÖKO = ökologischer Landbau

VK = Vielfältige Kulturen im Ackerbau

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS-Daten (2016, 2022) und VDLUFA-Werten (2014) sowie Werten aus Poeplau und Don (2015) und Kolbe und Zimmer (2015).

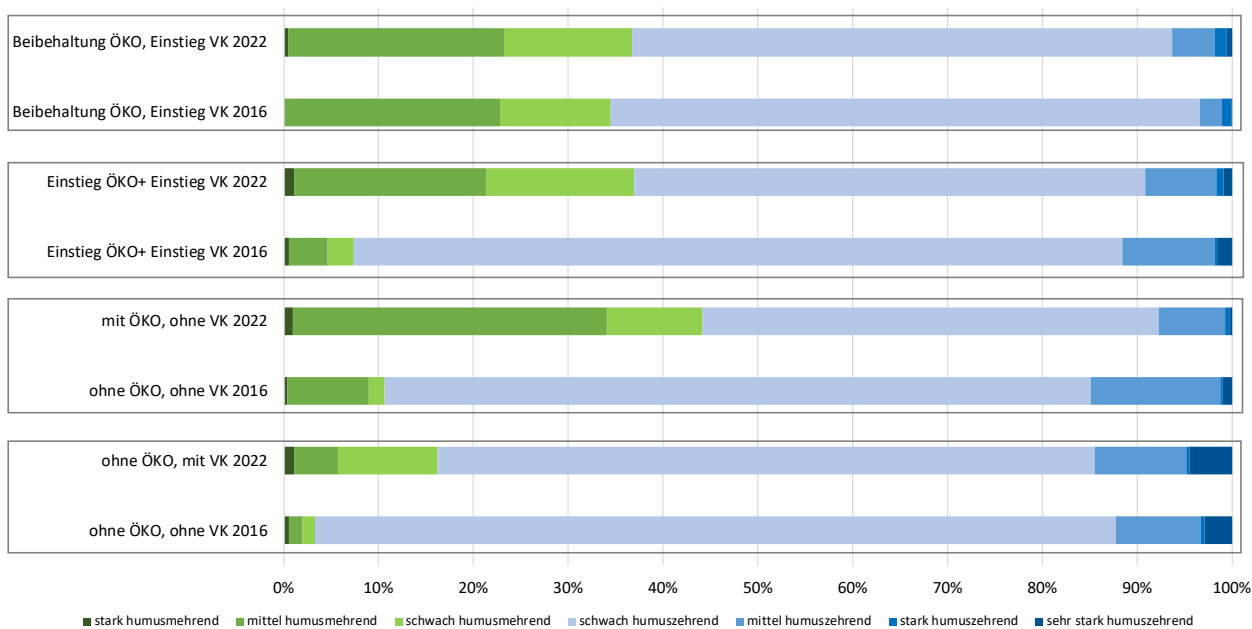
Die besten Humusbilanzen (als Summe und auch bei den Mittelwerten) zeigen die Betriebe, welche ausschließlich ökologisch wirtschafteten und keine VK-Förderung in Anspruch nahmen⁸. Im Jahr 2022 wiesen diese in Bezug auf den gewichteten Mittelwert (Spaltenziffer 3) einen Bilanzunterschied von 254 Häq/ha*a gegenüber nicht-teilnehmenden konventionellen Betrieben (ohne VK-Förderung, ohne ÖKO) auf. Etwas geringer war der

⁸ Mit Ausnahme der konventionellen Betriebe ohne VK-Förderung von 2016, bei denen die hohe Bilanz auf den hohen Rapsanbau zurückzuführen ist.

Bilanzunterschied bei den Betrieben, die den Ökologischen Landbau mit einer VK-Förderung kombinierten. Sie konnten netto im Schnitt ca. 173 Hq/ha*a gegenüber den nicht-teilnehmenden Betrieben erzielen (Spaltenziffer 4). Sie reduzierten den Anteil an Leguminosen und erhöhten den Anteil der Körnerleguminosen, welche jedoch eine schwächere Humusreproduktionsleistung aufwiesen (siehe Ergebnisse Akzeptanzbericht, Roggendorf et al., 2024).

Vergleichbare Schlüsse können auch aus den Auswertungen der angebauten Kulturarten gruppiert nach den Humusklassen gezogen werden. Hier sind die VK-Förderung und der Ökologische Landbau als DiD-Vergleich der Jahre 2016 und 2022 umgesetzt worden (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 7: Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2016 (vor und nach Einstieg in die VK-Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie ÖKO- und VK-Teilnahme (Flächenanteile in Prozent)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der InVeKoS-Daten (2016, 2022).

Die konventionellen Betriebe, welche von 2016 auf 2022 in die VK-Förderung einstiegen (die ersten beiden Balken von unten) und die Betriebe, welche von 2016 auf 2022 auf den Ökologischen Landbau umstellten (Balken drei und vier von unten), zeigen einen deutlichen Anstieg des Anteils humusmehrender Kulturen zum Jahr 2022. Im Jahr 2022 ist der Anteil mittel humusmehrender Kulturen bei den Betrieben, die auf Ökolandbau umstiegen deutlich größer (+ 25 Prozentpunkte) als bei denen, die in die VK-Förderung einstiegen (+ 3 Prozentpunkte). Der hohe Anteil mittel humusmehrender Kulturen bei der Umstellung auf den Ökologischen Landbau, wozu Ackergras und Leguminosen-Grasgemenge zählen, ist höchstwahrscheinlich im verpflichtenden Anteil an Leguminosen als Stickstoffquelle im Ökolandbau begründet. Plausibel ist auch, dass bei einem gleichzeitigen Einstieg in beide Förderungen im Jahr 2022 der Anteil an schwach humusmehrenden Kulturen am stärksten angestiegen ist. Dieser Anstieg ist auch bei den beibehaltenden Ökobetrieben aufgetreten, welche 2022 mit der Förderung Vielfältiger Kulturen begannen (die obersten zwei Balken).

Mitnahmeeffekte liegen basierend auf den Ergebnissen der Akzeptanzbewertung (Roggendorf et al., 2024) für die Gruppe der Ökobetriebe vor, die zeitgleich an der VK-Förderung teilnahmen. Die Mitnahme liegt bezogen auf die VK-Förderfläche bei 27,5 %, jenem Anteil der durch Ökobetriebe bewirtschaftet wird (basierend auf den InVeKoS-Angaben von 2020). Da die Humusbilanz dieser Betriebe schlechter als die der „reinen“ Ökobetriebe ist,

werden die Wirkungen dieser Betriebe in Bezug auf die Flächenwerte und Summe nicht gewertet. In der Gesamtbetrachtung werden daher nur die „reinen“ VK-Wirkungen der Betriebe berücksichtigt.

Ausblick

In der neuen Förderperiode ab 2023 wird die Förderung nicht mehr als reine AUKM angeboten. Sie ist in der Ökoregelung 2 „Vielfältige Kulturen“ aufgegangen, deren Grundbedingungen zum Erhalt der Teilnahme an der HALM Maßnahme erfüllt werden müssen. Die AUKM Vielfältige Kulturen im Ackerbau baut somit auf dem bisherigen Niveau auf, ist aber nicht mehr über GAP-Mittel finanziert. Sie besteht aus fünf verschiedenen Modulen, welche erhöhte Anforderungen in den Bereichen großkörnige Leguminosen, blühende Kulturen, Getreidesommerungen, Erosionsschutz und humusmehrende Kulturen formuliert. Besonders die letzten beiden Module stellen für den Bodenschutz eine Steigerung des Niveaus und den damit verbundenen Ressourcenschutzwirkungen dar. In den Förderbedingungen werden die Wirkungsfaktoren des C-Faktors (Erosionsschutz) und der Anteil humusmehrender Kulturen (Kohlenstoffspeicherung im Boden) adressiert (HMLU, 2024b; Fräncke, 2025).

Ob die Mitnahmeeffekte bei der Kombination ÖKO- und VK-Förderung ähnlich hoch sind, wie es die dargestellten Ergebnisse für Hessen 2014 bis 2022 zeigen, ist unklar. Das Mitnahmepotential der Maßnahmenkombination ÖKO-VK ist aber vergleichsweise hoch und sollte weitgehend reduziert werden.

5.4.5 Ökologischer Landbau

Der Ökologische Landbau besteht aus den beiden Teilmaßnahmen 11.1 Einführung ökologischer Landbau und 11.2 Beibehaltung ökologischer Landbau. Sie konnten bis zum Jahr 2022 jährlich beantragt werden. Der Förderhöchststand wurde in Hessen 2022 mit 116.962 ha (InVeKoS-Daten) erreicht, womit der ursprünglich gesetzte Zielwert von 90.000 ha deutlich überschritten wurde (HMUKLV, 2015). Die ökologisch bewirtschaftete Förderfläche umfasste im Jahr 2021 knapp 22 % des im InVeKoS erfassten Grünlandes, 10,5 % der Dauerkulturfläche und gut 9 % der Ackerfläche in Hessen (Roggendorf et al., 2024).

Der Ökolandbau ist mit positiven Wirkungen auf die abiotischen und biotischen Schutzgüter verbunden, von denen hier lediglich das Schutzgut Boden betrachtet wird. Er trägt auch zum **Erosionsschutz** bei. Im Gegensatz zur konventionellen Landbewirtschaftung wird meistens mit einer geringeren Pflugtiefe gearbeitet (Honecker et al., 2022). Die Fruchtfolgen weisen einen geringeren Anteil an erosionsfördernden Kulturen, wie Reihenfrüchte und einen höheren Anteil an Klee gras (untersaaten) auf, was das Erosionsrisiko senkt (Honecker et al., 2022; AG Erosionsschutz, 2017; Schmaltz et al., 2023). Es konnte ca. 30 % weniger durchschnittlicher Sedimentaustrag bzw. 0,54 t/ha*a im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung nachgewiesen werden (Seitz et al., 2019). Zudem zeichnet sich der Ökologische Landbau durch erosionsmindernde Bewirtschaftungsmaßnahmen aus, wie ein hoher Eintrag bzw. eine hohe Zufuhr organischer Substanz, Mulchbedeckung, diverse Fruchtfolgen mit Klee-Grasmischungen und Luzerne-Grasmischungen, was letztendlich positiv auf den Erosionsschutz wirkt. Zudem weisen ökologisch bewirtschaftete Böden aufgrund des größeren C_{org} -Gehalts eine höhere Aggregatstabilität und Infiltrationsraten auf, welche die Erosion tendenziell verringern. Das alles sorgt dafür, dass auch bei Literatursynopsen der Ökolandbau im Vergleich zum konventionellen Anbau einen geringeren Bodenabtrag zu verzeichnen hat (Haller et al., 2020; Sanders und Heß, 2019).

Bewirtschaftungsmaßnahmen, welche sich neben dem Erosionsschutz auch positiv auf die Bodenfruchtbarkeit auswirken, wie eine hohe Zufuhr an organischer Substanz/organischer Dünger, diversifizierte Fruchtfolge mit mehrjährigen Leguminosen und ständige Bodenbedeckung, werden im Ökologischen Landbau vergleichsweise häufig angewendet (Tiefenbacher et al., 2021; Haller et al., 2020; Wüstemann et al., 2023). Demnach kann eine große Bodenfruchtbarkeit angenommen werden. Allerdings können diese positiven Effekte durch tiefes oder dauerhaftes Pflügen oder häufiges Überfahren der Flächen, welches sich beides negativ auf die Bodenfruchtbarkeit auswirkt, verringert werden. Insgesamt ergeben Langzeitversuche und Paarvergleiche von

ökologischen und konventionellen Betrieben, dass die **organische Bodensubstanz und die C-Speicherung** in der ökologischen Landwirtschaft im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung erhöht ist (Haller et al., 2020; Sanders und Heß, 2019). Im Vergleich zu anderen Praktiken zur Kohlenstoffbindung im Boden wird der Umstellung auf den Ökologischen Landbau ein großes Potenzial von 2.150 kg CO₂-Äq. pro Hektar und Jahr zugewiesen (EU-KOM, DG Agri, 2024). Bei zwanzigjähriger Laufzeit kann im Ökolandbau bis zu 287 ± 102 kg C/ha*a mehr Kohlenstoff im Oberboden (0 bis 20 cm/30 cm⁹) festgelegt werden (Potenzial) als bei konventioneller Bewirtschaftung (Tiefenbacher et al., 2021). Im Schnitt sind die SOC-Vorräte im Ökolandbau um $1,8 \pm 1,44$ t C/ha höherer als in nicht-ökologischen Bewirtschaftungssystemen (Gattinger et al., 2012). Vor allem für den Oberboden (0 bis 15 cm) konnte festgestellt werden, dass in ökologisch bewirtschafteten Böden der Bodenkohlenstoffgehalt im Gegensatz zur konventionellen Bewirtschaftung leicht erhöht ist (Lfl, 2006).

Pflügen wird beim Ökologischen Landbau häufig eingesetzt, um Unkrautregulierung zu betreiben. Allerdings ist damit ein Risiko des SOC-Vorratsverlusts verbunden (Tiefenbacher et al., 2021). Wenn im Ökologischen Landbau eine reduzierte Bodenbearbeitung anstelle des normalen Pflügens praktiziert wird, kann im Schnitt in allen Bodenhorizonten ein Anstieg im C_{org} Vorrat festgestellt werden (Oberboden 0 bis 10/15 cm: 3,8 t C/ha, Mittelschicht bis 15 bis 30 cm: 1,6 t C/ha, Unterboden [UB] 70 bis 100 cm: 2,5 t C/ha) (Krauss et al., 2022). Da zur Bodenbearbeitung keine Daten vorliegen, sind keine Analysen vorgenommen worden. Der Ökologische Landbau zeichnet sich entsprechend den Bedingungen der VO (EG) Nr. 834/2007 bzw. ab dem 01.01.2022 VO (EU) 2018/848 auch durch eine mehrjährige Fruchtfolge aus, inklusive der Integration von Leguminosen und Gründungspflanzen. Vielgliedrige Fruchtfolgen tragen im Gegensatz zu Monokulturen stärker zum Aufbau des SOC-Vorrats bei. Zudem wird das Potenzial zur Kohlenstoffsequestrierung im Oberboden (0 bis 20/30 cm) erhöht, um 216 ± 117 kg C/ha*a im Vergleich zu eingliedrigen Fruchtfolgen (Tiefenbacher et al., 2021). Besonders wirksam sind diverse Fruchtfolgen mit Klee-Grasmischungen und Luzerne-Grasmischungen (Levin et al. 2019 zitiert in: Haller et al., 2020). Zudem ist der Einsatz von organischem Dünger aufgrund des Mineraldüngerverbots (N-, P-, K-Dünger) ein zentraler Punkt im Ökologischen Landbau. Das Einbringen von Stallmist und Kompost trägt unabhängig der Bewirtschaftungsart zum Humusaufbau bei. Im Vergleich zu Ackerland ohne organische Düngung kann so langfristig bis zu 22 t C/ha*a in den Boden eingetragen werden (Körschens et al., 2013). Um klimawirksamen Humusaufbau zu erzielen und für die C-Sequestrierung anrechnen zu können, müssen auf den Flächen z. B. eines Betriebs Verlagerungseffekte bzw. Leakage-Effekte ausgeschlossen werden. Das heißt, die Menge an aufgebracht organischer Substanz muss insgesamt mehr werden, sonst erfolgt nur eine Umverteilung auf den Flächen (Wiesmeier et al., 2020; Wüstemann et al., 2023).

Die bisherigen oben aufgeführten Ergebnisse der Wissenschaft, welche die positiven Beiträge des Ökologischen Landbaus zur Kohlenstoffspeicherung hervorhoben, basieren auf kontrollierten Feldexperimenten. Allerdings gibt es erstmals dazu Ergebnisse aus der landwirtschaftlichen Praxis. Eine Studie aus dem Jahr 2025 ergab, dass es basierend auf Auswertungen von Bodeninventurdatensätzen keinen signifikanten Unterschied im Bodenkohlenstoffgehalt und -vorrat unter ökologischer Bewirtschaftung im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft gibt. Untersuchte Faktoren waren neben dem Ertrag die Menge der organischen Düngung, der Anbau von Zwischenfrüchten und die Fruchtfolge in Bezug auf den Humusmehreranteil. Der letzte Faktor bestätigte, dass der Anteil an Humusmehrern mit 39 % im Ökologischen Landbau deutlich größer war als in der konventionellen Landwirtschaft mit 11 %. Die anderen Faktoren glichen diesen Vorteil allerdings aus. Trotzdem lautete das Fazit, dass der Bodenkohlenstoffaufbau im Ökolandbau, welcher vorwiegend auf die humusfördernden Fruchtfolgen zurückzuführen ist, deswegen mit einem deutlich weniger negativen Umwelteffekten einhergeht als im konventionellen Anbau. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass im konventionellen Anbau der Bodenkohlenstoff durch den erheblichen Einsatz von Mineraldüngern aufgebaut wird, welcher sowohl bei der Produktion (großer Energieeinsatz) als auch im Einsatz bzw. in der Ausbringung mit größeren Emissionen (z. B. THG-Emissionen) verbunden ist (Brügge und Don, 2025).

⁹ Die Untersuchungen unterscheiden sich in ihren analysierten Oberbodenmächtigkeiten, sodass in den folgenden Absätzen verschiedene Bezugsgrößen und Betrachtungsweisen dargestellt sind.

Quantifizierung der Wassererosionsschutzwirkung

Die Erosionsschutzwirkung der geförderten ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen wurden mit dem Jahr 2021 kalkuliert, da für Hessen die aktuellsten E_{nat} Daten für dieses Jahr vorlagen (HLNUG, 2023). Die Wirkung ist demnach für weniger Fläche als der Förderhöchststand angegeben, wodurch der Bodenabtrag in Bezug auf die erreichte Fläche leicht unterschätzt wird. Da bei der Zuordnung der Ackerflächen des Ökolandbaus (InVeKoS-Daten) zu den HLNUG-Daten der natürlichen Erosionsgefährdung nicht alle zugeordnet werden konnten (technisch bedingt), ist die Fläche ca. um ein Drittel unterschätzt und basiert auf 20.724 ha.

Durch die ökologische Bewirtschaftung der Ackerflächen wurde, im Vergleich zur Situation ohne Förderung (natürliche Erosionsgefährdung) im Jahr 2021, der Bodenabtrag um ca. 434.000 t bis maximal 614.000 t reduziert (vgl. Tabelle 23).

Tabelle 23: Potenziell vermiedener mittlerer Bodenabtrag auf ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen

CC-Kulisse	E_{nat} -Stufe	Fläche Öko AL [ha]	Mittlerer vermiedener Bodenabtrag			
			pro Fläche		gesamt	
			Min [t/ha*a]	Max	Min [t/a]	Max
CC _{Wasser0}	E_{nat0}	0,1	-0,03	-0,12	0,0	0,0
	E_{nat1}	269	0,39	0,57	104,8	153,1
	E_{nat2}	997	2,34	2,77	2.333,2	2.761,9
	E_{nat3}	1.169	4,79	5,24	5.597,7	6.123,6
	E_{nat4}	3.982	7,11	12,31	28.312,4	49.019,0
CC _{Wasser1}	E_{nat5}	5.658	14	23,73	79.205,9	134.253,9
CC _{Wasser2}	$E_{nat6.1}$	4.733	25,81	39,56	122.164,4	187.246,2
	$E_{nat6.2}$	2.590	42,76	60,56	110.768,5	156.878,9
	$E_{nat6.3}$	1.327	64,45	58,4	85.500,3	77.474,3
Summe		20.724	20,9	29,6	433.987	613.911

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des HLNUG (2021) und InVeKoS (2021).

Eine alternative Darstellung des vermiedenen Bodenabtrags mit der Verteilung auf die verschiedenen E_{nat} -Stufen zeigt Abbildung A im Anhang.

In der E_{nat} -Stufe 0 ist der Abtrag im Minimum negativ, da gegenüber der natürlichen sehr geringen Erosionsgefährdung eine Ackerbewirtschaftung immer mit (mehr) Bodenabtrag verbunden ist. Die anderen vermiedenen Bodenabtragsmengen liegen im positiven Bereich und stellen den vermiedenen Abtrag dar.

Mit der ABAG wurde auf den Ackerflächen des Ökologischen Landbaus ein Bodenabtrag von im Mittel zwischen 1,27 bis 4,56 t/ha*a kalkuliert. Diese Werte passen auch zu dem für Hessen im Jahr 2021 nach Quellen des Thünen-Instituts mittleren Bodenabtrag von 2,32 t/ha*a, unter der Prämisse eines C-Faktors auf der Gemeindeebene (Baum et al., 2025).

Quantifizierung der Kohlenstoffspeicherung im Boden

Für den Ökologischen Landbau wurde die vereinfachte Humusbilanz der Fruchtfolge im Vergleich zur Situation ohne Förderung bzw. zur konventionellen Bewirtschaftung kalkuliert, wie in Kapitel 4 beschrieben.

Die Ergebnisse unterteilen sich in separate Auswertungen für die Jahre 2016 und 2022 (als Vorher-Nachher- bzw. Mit-Ohne Vergleich) sowie in die Auswertungen als DiD-Vergleich. Bei der Betrachtung der beiden Einzeljahre fällt auf, dass die Summen der vereinfachten Humusbilanzierungen sowohl konventionelle als auch ökologischer Betriebe positiv sind (Spaltenziffer 1). Allerdings zeichnen sich die konventionellen Betriebe durch deutlich geringere positive Summen als die ökologischen Betriebe aus (vgl. Tabelle 24). Die humusmehrende Bewirtschaftungsweise mit stärker positiven Humusbilanzen im Ökologischen Landbau, ist klar erkennbar. Zu beachten ist die Anzahl der in den Analysen berücksichtigten Betriebe. Die Anzahl der ökologisch wirtschaftenden Betriebe ist im Vergleich zur Anzahl konventionell wirtschaftender Betriebe deutlich geringer. Dies ist zum einen darin begründet, dass nur ein geringer Teil (Jahr 2020: 10 %) der hessischen Betriebe ökologisch wirtschaftete. Zum anderen dominierte in den hessischen Ökobetrieben die Grünlandnutzung; viele Ökobetriebe wurden bei der Analyse der Humusbilanzen des Ackerlandes nicht mit einbezogen (vgl. Bericht von Roggendorf et al., 2024).

Tabelle 24: Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2016 und 2022, Unterscheidung konventionell und ÖKO

Jahr	Bewirtschaftungsart	Anzahl Betriebe [n]	Ackerfläche [ha]	Humusreproduktionsleistung [Häq/ha*a]			(4) Differenz: Mittelwert gewichtet zu konventionellen Betrieben
				(1) Summe	(2) Mittelwert	(3) Mittelwert gewichtet	
2022	konventionell	11.227	348.190	1.351.495	59,3	3,9	254,0
	ÖKO	1.126	22.350	5.762.819	323,4	257,8	
2016	konventionell	13.403	412.710	32.110.181	91,3	77,8	168,8
	ÖKO	792	14.216	3.505.491	293,0	246,6	

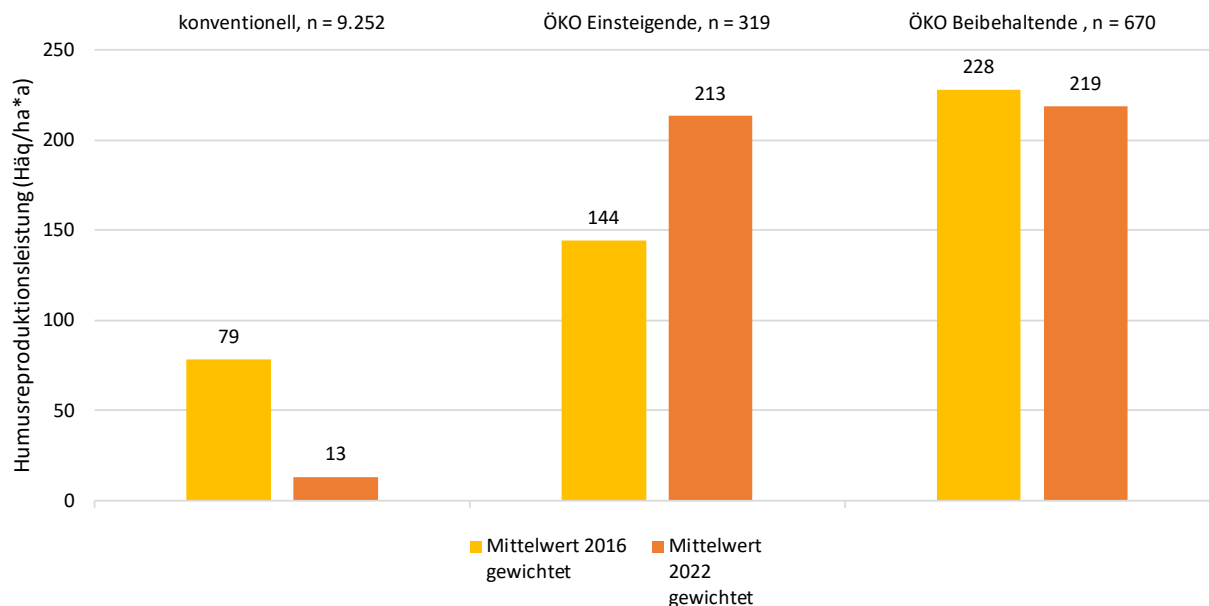
ÖKO = ökologischer Landbau

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS-Daten (2016, 2022) und VDLUFA-Werten (2014) sowie Werten aus Poeplau und Don (2015) und Kolbe und Zimmer (2015). ÖKO = Ökologischer Landbau.

Bei den Mittelwerten auf Betriebsebene (Spaltenziffer 2) fällt auf, dass die Humusbilanzen der ökologisch wirtschaftenden Betriebe ebenfalls deutlich positivere Mittelwerte aufweisen als die konventionellen Betriebe. Ökobetriebe arbeiten generell etwas stärker humusmehrend bzw. bauen mehr humusmehrende Kulturen an (siehe dazu nächster Abschnitt zur Auswertung der angebauten Fruchtarten). Bei der Betrachtung der Betriebsebene gibt es einzelne Ausreißer mit Extremwerten, deren Einfluss auf das Ergebnis auf das flächengewichteter Mittelwerte reduziert wurde. Im Vergleich zur Situation ohne Förderung (Spaltenziffer 4) ist mit der ÖKO-Förderung ein Eintrag bzw. eine Einsparung von Kohlenstoff von ca. 254 Humusäquivalenten/ha*a im Jahr 2022 verbunden. Die Humussalden der gewichteten Mittelwerte in den konventionellen und Ökobetrieben sind nach der VDLUFA als „ausgeglichen“ zu bewerten, was bedeutet, dass kein Handlungsbedarf der Betriebe zur Veränderung ihrer Bewirtschaftung (z. B. Anbau anderer Fruchtarten) besteht und der Humusabbau durch die Humuszufuhr, im Mittel der betrachteten Betriebe, ausgeglichen wird (VDLUFA, 2014: Tabelle 3b).

Bei der Verknüpfung der InVeKoS-Betriebe von 2016 und 2022, welche dieselbe Betriebsnummer in beiden Jahren hatten, konnten Entwicklungen auf Einzelbetriebsebene betrachtet sowie Vergleiche Mit-Ohne-Vorher-Nachher angestellt werden (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8: DiD-Vergleich, vereinfachte Humusbilanzen der Betriebe nach Bewirtschaftungsart für die Jahre 2016 und 2022 mit und ohne ÖKO-Förderung



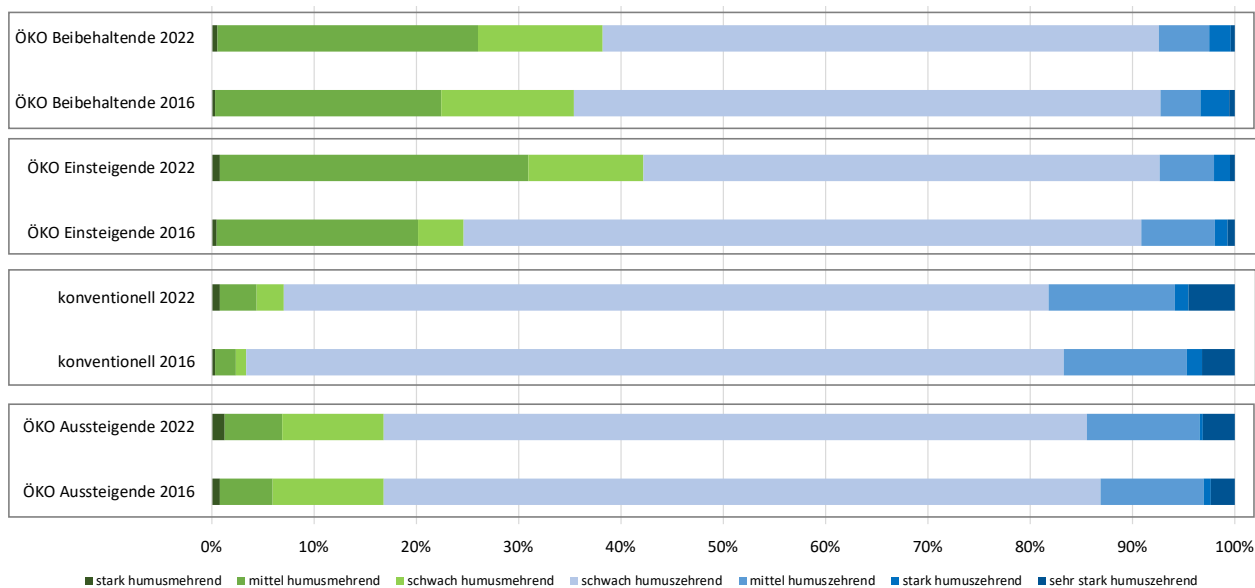
Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung auf Grundlage von InVeKoS-Daten (2016, 2022) und VDLUFA-Werten (2014) sowie Werten aus Poeplau und Don (2015) und Kolbe und Zimmer (2015).

Die Auswertungen unterstützen die Ergebnisse der oben dargestellten Betriebsgruppen. Wie in Tabelle 24 sind die Humusbilanzen bei allen betrachteten Betriebsgruppen positiv, was vor allem auf die Integration des Verbleibs der Koppelprodukte auf dem Feld und die damit verbundene humusmehrende Wirkung zurückzuführen ist sowie bei den konventionellen Betrieben auf die Berücksichtigung der ÖVF-Flächen mit Zwischenfruchtanbau zur Bilanzierung.

Werden die Betriebe betrachtet, welche in den Ökologischen Landbau eingestiegen sind (2016 keine ÖKO-Förderung und 2022 ÖKO-Förderung) ist ersichtlich, dass bei diesen Betrieben die Summe der vereinfachten Humusbilanz 2016 noch etwas geringer positiv war und sich 2022 sehr stark erhöht hat (+ 63 Prozentpunkte). Bei Betrachtung der gewichteten Mittelwerte, ist der Effekt etwas geringer ausgeprägt (+ 48 Prozentpunkte). Damit war der Effekt der Umstellung auf den Ökologischen Landbau mit der tendenziell stärker humusmehrenden Bewirtschaftung gut zu erkennen. Die bewirtschaftete Ackerfläche ist bei den einsteigenden Ökobetrieben zwischen beiden Jahren stärker angestiegen (plus 10 %) als bei den konventionellen Betrieben (plus 6 %). Bei den konventionellen Betrieben zeigte die vereinfachte Humusbilanz im flächengewichteten Mittelwert, dass der Anbau der Kulturen auf den Flächen 2022 etwas stärker humusmehrender war als 2016. Die Betriebe, welche den Ökologischen Landbau beibehielten, zeigten 2022 eine stärkere humusmehrende Bewirtschaftung als 2016 (einfacher Mittelwert), wie auch die etwas positivere Summe der Humusbilanz (+ 8 Prozentpunkte). Der gewichtete Mittelwert hingegen war leicht gesunken (- 4 Prozentpunkte).

Werden die angebauten Fruchtarten entsprechend ihrer Humusreproduktionsleistung in humusmehrende und humuszehrende Gruppen sortiert (Einteilung im Anhang, vgl. Tabelle A1 und Tabelle A2), zeigt sich ein etwas genaueres Bild, welche Fruchtarten bei den beiden Bewirtschaftungsarten im Fokus standen (vgl. Abbildung 9).

Abbildung 9: Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2016 (vor Einstieg in die Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne ÖKO (Flächenanteile in Prozent)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der InVeKoS-Daten (2016, 2022).

Die konventionellen Betriebe zeichnen sich durch den Anbau größtenteils humuszehrender Kulturen aus (ca. 97 % im Jahr 2016, ca. 93 % im Jahr 2022). Bei den ÖKO Einsteigenden zeigt sich vor dem Umstieg 2016 ein großer Anteil humuszehrender Fruchtarten als im Jahr 2022. Bei dem Umstieg auf Ökologischen Landbau wurde der Anteil humuszehrender Gruppen (v. a. der Gruppe schwach und mittel humuszehrend) reduziert. Dazu gehören nach der Einteilung der VDLUFA verschiedene Fruchtarten wie Getreide, Öl- und Faserpflanzen und Mais. Aber auch der Anteil der sehr starken Humuszehrer wurde verringert, wozu die Hackfrüchte zählen. Erhöht wurde hingegen der Anbau von schwach und mittel humusmehrenden Fruchtarten. Dies sind vorwiegend Körnerleguminosen und Ackergras, was den Vorgaben des Ökologischen Landbaus entspricht (s. o.). Somit verschob sich der Wert der vereinfachten Humusbilanzsumme in Richtung humusmehrend. Die beibehaltenden Ökobetriebe (die ersten beiden Balken von oben) weisen in beiden Jahren ebenfalls einen hohen Anteil humusmehrender Kulturen auf (35 % im Jahr 2016, 38 % im Jahr 2022). Bei den Ökobetrieben, welche aus der Förderung ausstiegen¹⁰ (die untersten zwei Balken), ist der Anteil humusmehrender und -zehrender Kulturen in der Summe ungefähr gleichgeblieben, die Differenz besteht vorwiegend aus einer 2022 größeren Fläche v. a. von schwach aber auch mittel humuszehrender Kulturen. Allerdings sind die Anteile humuszehrender Kulturen nicht mit dem Niveau der konventionellen Betriebe 2022 vergleichbar, welche deutliche höhere Anteile dieser Kulturen aufwiesen.

5.4.6 Ausgleichszulage

Die folgenden Ausführungen sind dem Bericht von Reiter und Sander (2022) zur Ausgleichszulage (TM 13.2) und der Wirkung auf den Erhalt des Dauergrünlandes entnommen. Die wirkungsbezogenen Aussagen sind auch auf die Ausgleichszulage in spezifischen Gebieten (TM 13.3) übertragbar.

Mit der gültigen Neuabgrenzung der Kulisse wurden 343 hessische Gemarkungen mit einer landwirtschaftlichen Fläche von 112.768 ha erfasst. Insgesamt wurden 1.540 Gemarkungen mit 455.878 ha LF und somit rund 60 % der hessischen LF als benachteiligt eingestuft. Wie in Tabelle 9 dargestellt sind für die Teilmaßnahme 13.2 zum

¹⁰ Siehe Fußnote zu den VK-Aussteigenden.

Ausgleich der aus naturbedingten Gründen benachteiligte Gebiete rund 343.110 ha abgegrenzt. In den in zwei Schritten abgegrenzten Kulisse für die TM 13.3 sind 5.777 ha LF im Jahr 2019 und 2020 weitere 106.991 ha LF definiert worden. Im EPLR sind 334.000 ha für die TM 13.2 und 75.000 ha für die TM 13.3 als Flächenziel vorgesehen (vgl. Tabelle 9).

Zum Förderhöchststand wurden bis Ende 2022 für die TM 13.2 ca. 298.200 ha erreicht, was einer Zielerreichung von 89 % entspricht (Monitoringdaten). Entsprechend für die TM 13.3 wurden ca. 16.700 ha erreicht, was einer Zielerreichung von 22 % entspricht. Für die Erosionsgefährdung sind die Ackerflächen in der AGZ-Kulisse von Bedeutung und deren Erhaltung der traditionellen, umweltschonenden landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen (vgl. Zielsetzung AGZ im EPLR). Für die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist v. a. der Grünlanderhalt wichtig. Relevant sind dann weiterhin die Flächen, für die keine weiteren Auflagen aufgrund von AUKM aus Bodenschutzsicht vorlagen.

Die zentralen Punkte, warum der Grünlanderhalt nicht direkt mit der AGZ Förderung in Verbindung steht, sind im Folgenden kurz aus dem AGZ-Bericht (s. o.) zusammengefasst:

- Der Umfang des Dauergrünlandes (absolut und anteilig an der LF) hat auf den InVeKoS-GIS basierten Datenauswertungen seit 2010 bis 2019 nicht abgenommen.
- Ein Anstieg des Dauergrünlandes in den benachteiligten Gebieten stellte sich ein, obwohl Einkommensnachteile in der Flächenbewirtschaftung in den benachteiligten Gebieten durch die AGZ nicht vollständig kompensiert wurden. Die Entwicklung des Ackerlandes zeigte hingegen eine gegenläufige Entwicklung und hat sich ausgehend 2018 um drei % zur Basis von 2005 verringert.
- Eine durch die AGZ induzierte Grünlanderhaltungswirkung kann nur dort wirksam werden, wo nicht bereits andere Regelungen zur Grünlanderhaltung gelten. Damit scheiden die Betriebe aus, welche dem Greening unterliegen oder Förderung für den Grünland-Vertragsnaturschutz im HALM erhalten. Rund ein Viertel des geförderten Dauergrünlandes wurde nicht durch Greening-Verpflichtungen erreicht. Diese Flächen werden fast vollständig von Ökobetrieben bewirtschaftet (green by definition, demnach kein Grünlanderhalt durch die Direktzahlungen).
- Da die Förderung in der jetzigen Form keine explizite Regelung zum Grünlanderhalt beinhaltet, kann nicht per se von einer durch die Förderung induzierten Grünlanderhalt oder Nutzung ausgegangen werden.
- Die AGZ-Zahlung erhöht die Rentabilität der DGL-Nutzung, hieraus lässt sich kausal per se keine (aktive) Grünlandnutzung oder grünlandbasierte Tierhaltung begründen.

Somit kann auch keine Sicherung des Grünlandes in Bezug auf die Wirkung zur **Kohlenstoffspeicherung im Boden** angenommen werden.

In Bezug auf den **Wassererosionsschutz** ist die Wirkungskette denkbar, dass durch die AGZ-Zahlungen die aktuelle umweltschonende Bewirtschaftung (z. B. Grünland oder Ackerland) erhalten wird. Grünland, welches nicht durch die Greening-Regelungen und somit auch nicht der Grünlanderhaltungsklausel erhalten werden muss, könnte dann erhalten oder auf erosionsgefährdeten Ackerflächen weiterhin schonend bewirtschaftet werden. Da aufgrund der AGZ-Förderung dieser Gebiete (Ackerland und Grünland) keine Förderauflagen zur Bewirtschaftung verbunden waren, die über die GLÖZ-Standards hinausgehen und nur die Zugehörigkeit zur Kulisse den Zahlungsanspruch begründet, ist demnach auch keine darüberhinausgehende Bodenschutzwirkung in den Förderauflagen verknüpft.

Somit kann aufgrund der vorhandenen Auswertungen bei der Ausgleichzulage 13.2 und 13.3 keine Bodenschutzwirkung und damit verbunden auch keine Mitnahmeeffekte abgeleitet werden.

5.5 Wirkungen der Maßnahmen ohne programmierte Bodenschutzziele: Europäische Innovationspartnerschaften

Das Kapitel stützt sich auf Angaben aus dem ausführlichen Bericht von Eberhardt (2022). Für die Teilmaßnahme EIP-Agri gab es in der Förderperiode bis 2022 sieben Calls mit 34 geförderten Vorhaben (Eberhardt, 2022). Die Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS), als bundesweiter Informations- und Ansprechpartner für EIP-Projekte, hat die 34 hessischen EIP-Vorhaben thematisch klassifiziert (DVS, 2024). Dabei sind für den Bodenschutz aus den aufgeführten Themenbereichen mehrere relevant: Ackerbau (14 Projekte), Boden-/Wasserschutz (6 Projekte), Bodenfruchtbarkeit und N-Effizienz (6 Projekte), Züchtung (4 Projekte), wobei Mehrfachzuweisungen möglich waren. Von diesen wurden wiederum durch ein Screening der Abschlussberichte und/oder Merkblätter acht EIP-Vorhaben identifiziert, die einen engeren oder weiteren Bezug zu den konkreten Bewertungskriterien (Wassererosionsschutz, Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden, vereinfachte Bodenbewirtschaftung) aufwiesen (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Merkmale der ausgewählten bodenschutzrelevanten EIP-Agri Vorhaben

Call	Vorhabensnummer	Vorhaben/Projekttitle	Kurztitel	Wirkungsart	Bodenbezogene Wirkungspfade	abgeschlossen
2	5	Implementierung und Weiterentwicklung einer online-basierten Entscheidungshilfe zur effizienten Bewässerungssteuerung für Freilandgemüse	GS-Netz	(x)	Mit online verfügbaren Assistenzmanagementsystemen zur Bewässerung für den Freilandgemüseanbau können langfristig Wasserressourcen effizienter eingesetzt werden. Durch etwaige Einsparungen und den gezielteren Einsatz können auch durch zu starke Bewässerung ausgelöste Erosionsereignisse vorgebeugt und/oder den Boden vor Austrocknung geschützt werden.	x
	9	Ertrags- und Qualitätssicherung von Winterweizen und Mais durch optimierten Einsatz von Gärresten in Hessen	Gärreste- Düngung	(x)	Mit einem innovativen und standortgerechten Einsatz von Gärresten als organischen Dünger kann die Düngemittelmenge gezielt bei weniger Umweltbelastung (Nährstoffüberschüsse, THG-Ausstoß etc.) bemessen und gewählt werden.	x
3	11	Innovativer Biogemüsebau in Nordhessen im Rahmen der landwirtschaftlichen Fruchtfolge sowie Verarbeitung als Grundlage einer regionalen Wertschöpfungskette mit Arbeitsplätzen für Menschen mit Behinderung	Biogemüse	x	Einrichtung einer regionalen Wertschöpfungskette für den biologischen Feingemüseanbau. Integration in bestehende Fruchtfolgen -> Auflockerung der Fruchtfolgen. Aufbau von Beratungsmodulen, für den gelungenen Anbau von Biogemüse als weiteres Standbein -> Wissenszuwachs im Bereich Biogemüseanbau in Nordhessen.	x
	15	Anbau von Soja ohne Flächenkonkurrenz durch Mischanbau in Weizen und Silomais	Soja on top	x	Erhöhung des Sojaanbaus mit einem kombinierten Anbausystem in Winterweizen- und Silomaiskulturen. Keine Flächenkonkurrenz, kein zusätzlicher Flächenbedarf für Sojaanbau. Verstärkter Anbau von Soja auf den Flächen führt zu einer erhöhten N-Verfügbarkeit der Nachfolgekulturen -> erhöhte Nährstoffverfügbarkeit, weniger N-Düngemittelsatz. Regionale Wertschöpfung statt Importe aus Drittländern -> Senkung der importierten THG-Emissionen.	x
5	22	Entwicklung innovativer Anbausysteme zur Förderung der Ertragsstabilität und des Humusaufbaus	Humuvation	x	Innovative Anbausysteme und gezielter Humusaufbau sorgen für eine gestärkte Kohlenstoffbindung im Boden.	x
	23	Entwicklung eines wirtschaftlichen Anbausystems für Gemüse im naturnahen Mulchsystem	Mulchgemüse Hessen	x	Durch neue Mulchsysteme "Kombi-Mulch-Verfahren" im Gemüsebau wird das Bodenleben und die Humusbildung gefördert, die Nährstoffverfügbarkeit erhöht und die Erosionsanfälligkeit reduziert.	x
6	27	Sorghum für Kornnutzung in Hessen: Etablierung von neuen lokal-adaptierten Sorten	Konsorghum für Hessen	x	Sorghum ist eine neue Kulturpflanze, welche eine mit Leguminosen vergleichbare Humusreproduktionsleistung aufweist und damit zur Bodenverbesserung beiträgt. Sie ist für den Ökolandbau geeignet und hat ein tiefgreifendes Wurzelsystem -> Bodenlockerung	x
7	34	Innovative Werkzeuge der Präzisionslandwirtschaft im On-Farm-Versuch	Deep Farming	(x)	Mit innovativen Werkzeugen der Präzisionslandwirtschaft wird eine erhöhte Düngereffizienz basierend auf den kleinräumigen, klimatischen Bodenverhältnisse angestrebt. Damit wird ein potenzieller Nährstoffüberschuss reduziert und die Nährstoffversorgung optimal gewährleistet -> Reduzierung des Düngemittelsatzes und Steigerung der Nährstoffversorgung.	

x = direkte Wirkungspfade, (x) = indirekte oder längere Wirkungspfade

Quelle: Eigene Darstellung mit Angaben von der Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS, 2024) sowie den Projektmerkblättern und Abschlussberichten.

Zum Teil waren es Vorhaben mit inhaltlich längeren bodenspezifischen Wirkungsketten. Thematisch haben die Vorhaben Anknüpfungspunkte zu Bodengesundheit, wie eine effizientere organische Düngung oder ein erhöhter Humusaufbau, Zucht und Etablierung angepasster Sorten (Biogemüsesorten, Soja, Sorghum) oder schonende bzw. innovative Bodenbewirtschaftung (Mulch, Präzisionslandwirtschaft, verschiedene Bearbeitungsverfahren) sowie dem Aspekt des Bodenschutzes. Dazu gehören z. B. frühere und gesteigerte Bodenbedeckung durch naturnahe Mulchsysteme, erhöhte Stickstoffverfügbarkeit im Boden durch Sojaanbau sowie ressourcenschonende Bewässerungssysteme, welche sich positiv auf den Schutz vor Bodenerosion auswirken. Auch auf die Humusspeicherung im Boden und die Kohlenstoffsequestrierung werden in Vorhaben abgezielt. Für diese aufgeführten Innovationsprojekte mit einer Laufzeit bis maximal Juni 2025 wurden in der FP bis 2022 eine Summe von ca. 9,7 Mio. Euro bewilligt (Stand: 01/2022). Sieben Vorhaben sind basierend auf den Angaben der Laufzeiten bereits abgeschlossen (DVS, 2024).

Erste gewonnene Erkenntnisse und erzielte Erfolge der abgeschlossenen Projekte zeigen sich bereits. Im Rahmen des Projektes GS-Netz konnte eine marktreife App für die Bewässerungssteuerung entwickelt werden, welche für Salat und Zwiebeln eine effizientere Bewässerung ermöglicht (Eberhardt, 2022). Durch das Gärreste-Düngungs-Projekt wurden u. a. Empfehlungen zur optimierten Anwendung von Gärresten in Weizen und Mais erarbeitet und der Öffentlichkeit vorgestellt (Honermeier et al., 2020). Des Weiteren konnten in dem Biogemüse Projekt Wertschöpfungsketten aufgebaut werden, welche regionale Kürbisse, unter Schaffung von Arbeitsplätzen für Menschen mit Behinderung, liefern können. Auch ein Aufbau von regionalen Wertschöpfungsketten von Biosalaten-Arten kann aufgrund der Vorarbeit des EIP-Projektes in alle Richtungen abgewickelt werden. Der Wissens- und Erfahrungszugewinn aufgrund der Praxis-Anbauversuchen und Exkursionen konnte erzielt werden (ein Beratungsmodul war nicht notwendig) (Treis et al., 2020). Auch das Kornsorghum-Projekt erzielte Projekterfolge, indem Kornsorghum-Zuchtstämme entwickelt wurden, welche eine verbesserte lokale Adaption aufweisen. Kornsorghum wurde als neue Kultur durch Anbauversuche bei praktischen Landwirten bekannt gemacht sowie eine Dissemination der Ergebnisse in der pflanzenbaulichen Beratung konnte abgeschlossen werden (Kravcov et al., 2024).

Die Wirkung der EIP-Agri ist als gering positiv einzustufen. Acht der 34 Vorhaben setzen an bodenschutzrelevanten Themen an und die Vorhaben können langfristig damit einen Beitrag zum verbesserten Bodenschutz leisten. Positive Wirkungen für den Bodenschutz können sich allerdings erst zeigen, wenn die Innovationen sich durchsetzen und in der Praxis breite Anwendung finden. Mitnahmeeffekte sind bei den EIP-Agri-Projekten weitgehend auszuschließen.

5.6 Kohärenz und Synergie

In diesem Kapitel wird die Komplementarität, Kohärenz und Synergie von Interventionen innerhalb des Programms (*interne Kohärenz*) und im Verhältnis zu nationalen und EU-Politiken außerhalb des EPLR (*externe Kohärenz*) betrachtet.

Im Zusammenhang der EPLR-Förderung ist unter Komplementarität der Beitrag unterschiedlicher Maßnahmen zu einem Ziel zu verstehen. Kohärenz umfasst zum einen eine zeitliche und räumliche Koordinierung zwischen (komplementären) Maßnahmen durch administrative Abläufe und Organisation und/oder durch integrierende Fördermaßnahmen. Zum anderen beinhaltet sie die Vereinbarkeit von Förderphilosophien und -bedingungen verschiedener Maßnahmen oder Programme und Akteuren und zwar von der Europäischen Ebene bis zur Umsetzungsebene (Toepel, 2000). Letzteres ist insbesondere für die Betrachtung der Programmebene von Relevanz. Interne Kohärenz betrachtet dabei die Vereinbarkeit innerhalb eines Programms, hier der Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022, externe Kohärenz das Verhältnis zu anderen nationalen und EU-Politiken. Synergien bezeichnen das konkrete Zusammenwirken von verschiedenen Instrumenten oder Maßnahmen.

Komplementär wirkende Maßnahmen waren im Bodenschutz möglich, d. h. unterschiedliche Maßnahmen, ergänzen sich inhaltlich und tragen zum gemeinsamen Ziel des Bodenschutzes bei. Ein Beispiel ist die Kombination zwischen dem Ökolandbau als Basis auf der landwirtschaftlichen Fläche mit der Kombination der Flurneuordnung, z. B. durch die erosive Hanglängen verkürzt werden.

Die für den Bodenschutz wirksamen Maßnahmen waren in den wenigsten Fällen für die Erosionsvorsorge oder den Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden programmiert (vgl. Tabelle 8) und/oder wurden nicht gezielt auf für den Bodenschutz relevante Flächen gelenkt. Für die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist die Lage nicht direkt relevant. Mögliche Synergien sind daher, auch in Anbetracht der geringen Reichweite der bodenschutzrelevanten Förderungen, eher zufällig.

Einzelne geförderte Vorhaben können auch mit negativen Wirkungen verbunden sein, die einen Zielkonflikt des ELER aufzeigen (fehlende interne Kohärenz). Ein Beispiel ist eine geringe Neuversiegelung im Zuge der Teilmaßnahme kleine Infrastrukturen (TM 7.2). Die neu versiegelten Flächen laufen dem Vorsorgegrundsatz des Bodenschutzes aus § 1 des LBodSchG vor Versiegelung entgegen. Prinzipiell gilt die Aussage zur Versiegelung auch für die nicht im Bodenkontext betrachtete Agrarinvestitionsförderung und alle geförderten Neubauvorhaben, bei denen Boden neu versiegelt wird.

5.7 Gesamtbetrachtung der bodenschutzrelevanten Maßnahmen

Die Wirkung der bodenschutzrelevanten Maßnahmen auf die Ackerfläche auf Programmebene wird in Form einer synoptischen Zusammenfassung dargestellt (vgl. Tabelle 26). Dabei werden die drei Bewertungskriterien „die Teilmaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei“, „die Teilmaßnahmen tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei“ sowie „Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe“ herangezogen und in Form der drei Kurzbezeichnungen in den Spaltenköpfen abgekürzt.

Der erste Abschnitt in Tabelle 26 stellt die Maßnahmen mit SPB 4C-Zielsetzung dar; im zweiten Abschnitt sind die Maßnahmen ohne explizite Zielsetzung aufgeführt.

Tabelle 26: Zusammenfassung der betrachteten bodenschutzrelevanten Maßnahmen

Code	Abkürzung	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Zielsetzung	Output	erreichte Fläche in der CC _{Wasser} -Kulisse ¹⁾	Wassererosion		Kohlenstoffspeicherung im Boden			Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe				
						vermiedener Bodenabtrag				vereinfachte Humusbilanzierung: Netto Humusäquivalente ²⁾			gekalkte Flächen [ha]	Wirkungsdauer	Mitnahmen
						pro Fläche		gesamt		pro Fläche (Mittelwert gewichtet) [Häq/ha*a]	gesamt (Summe) [Häq/a]	gesamt (Summe) [t C _{org} /a]			
						Minimum	Maximum	Minimum	Maximum						
					[%]	[t/ha*a]	[t/a]								
VA 4.3-2	Flur	Flurneuordnung ³⁾	x	82 Verfahren				n.q.				n.q.	dh	keine	
TM 7.2	7.2	Kleine Infrastrukturen ⁴⁾	x	138 Vorhaben				n.q.				n.q.	dh	keine	
TM 8.5	8.5	Bodenschutzkalkung ⁵⁾	P	15.327 ha 54 Vorhaben	kein Effekt auf den Wassererosionsschutz vorhanden			kein Effekt auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden vorhanden			15.327	dh	keine		
TM 10.1	VK	Vielfältige Kulturen ⁶⁾	x	96.580 ha		n.q.			59,5	3.576.114	3.576	n.q.	be	gering ⁷⁾	
TM 11.1/11.	ÖKO	Ökolandbau ⁶⁾	P	116.962 ha	13,6	20,9	29,6	433.987	613.911	254,0	7.602.756	7.603	n.q.	be	keine
TM 13.2/13.	AGZ	Ausgleichszulage	x*	298.239 ha	kein Effekt auf den Wassererosionsschutz vorhanden			kein Effekt auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden vorhanden			kein Effekt auf die Nährstoffstabilisierung vorhanden		be	keine	
TM 16.1	EIP-Agri	Europäische Innovationspartnerschaften ⁴⁾ davon mit Bodenschutzbezug	∅	34 Vorhaben 8 Vorhaben				n.q.				n.q.	dh	keine	
Summe					13,6	20,9	29,6	433.987	613.911	313,4	11.178.870	11.179	15.327		

Zielsetzungen: P = prioritär, x = sekundär, ∅ = ohne Ziel, im Feinkonzept vereinbarte Untersuchung bei erwarteter Wirkung

* = Ziel ist erst nach Neuabgrenzung (ab 2021) gültig

Wirkungsdauer: dh = dauerhaft, be = begrenzt auf die Dauer der Förderung

n.q. = nicht quantifiziert

1) CC_{Wasser} 1 bzw. E_{nat}5 und CC_{Wasser}2 bzw. E_{nat}6.1 bis E_{nat}6.3

2) In Bezug auf die Situation ohne Förderung

3) Angaben des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HLBG) für die Verfahren, welche zwischen 2014 und Ende 2023 EU-Mittel erhalten haben.

4) Monitoringdaten für das Jahr 2024.

5) Vorhabensbezogene Förderdaten des Landes für 2022 (HMUKLV 2023). In den Monitoringdaten werden zusätzlich noch die analysierten Flächen aufgeführt, welche als Vorbereitung zur Kalkung dienen.

6) Wert zeigt den Höchststand im Jahr 2022 (InVeKoS). VK = Für die Wirkungsbetrachtung der Humusspeicherung/Humusbilanzierung für das Jahr 2022 wurden 77.789 ha Ackerfläche hinzugezogen. ÖKO = Für die Wirkungsbetrachtung des Erosionsschutzes für das Jahr 2021 wurde 20.724 ha Ackerfläche hinzugezogen. Für die Wirkungsbetrachtung der Humusspeicherung/Humusbilanzierung für das Jahr 2022 wurden 22.350 ha Ackerfläche hinzugezogen. Bei der Summe wurde die Summe der VK-ÖKO-Kombinierenden mit einbezogen.

7) Mitnahmen nur bei der Gruppe mit VK-ÖKO Kombinierenden.

Quelle: Eigene Zusammenstellung aufgrund InVeKoS-Daten (2015 bis 2022), HLBG (2023), HMUKLV (2023a), HLNUG (2021), VDLUFA (2014), EPLR-Programm (HMUKLV, 2015) und Angaben der Verwaltungsbehörde und Fachreferate sowie vereinzelt Monitoringdaten (2025).

Zusammenfassung der Wirkungen nach Bewertungskriterien

Im Rahmen der Wirkung des Programms zur **Senkung des Bodenabtrags durch Wassererosion** wurden 13,6 % der **Wassererosionskulisse $CC_{\text{Wasser}1}$ und $CC_{\text{Wasser}2}$** durch den Ökolandbau erreicht. Das zeigt das große und bisher ungenutzte Potential dieser Maßnahme zur Reduzierung des Bodenabtrags durch Wassererosion. Er zeichnet sich durch eine flächenmäßig weite Verbreitung und relativ geringe summierbare C-Faktoren aus, was die kalkulierten Abtragsmengen lt. der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) vergleichsweise niedrig hält.

Der potenzielle **Bodenabtrag, der insgesamt durch das Programm vermieden wurde**, beläuft sich auf jährlich mindestens 433.987 t und maximal 613.911 t, wovon der Großteil auf sehr stark von Wassererosion bedrohten Flächen vermieden wurde. In Bezug auf die vermiedenen Tonnen pro Hektar Förderfläche wurde zwischen ca. 21 t und ca. 30 t Bodenmaterial durch den Ökologischen Landbau verhindert. Die mittleren Abtragsraten pro Hektar lagen beim Ökologischen Landbau zwischen 1,3 und 4,6 Tonnen pro Hektar und Jahr.

Das Programm leistete einen Beitrag zur **Kohlenstoffspeicherung im Boden** im Umfang von rund 11.200 t C_{org}/a für das betrachtete Jahr (Summe, Maximalwert). Der größte Teil dieser Wirkung entfiel auf den Ökologischen Landbau (ca. 7.600 t C_{org}/a für das betrachtete Jahr). Durch den Ökologischen Landbau wurde im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung, mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert, was sich in einer höheren humusmehrenden Humusbilanz zeigte. Netto entsprach dies einer Wirkung von rund 254 zusätzlichen Humusäquivalenten pro Hektar und Jahr, die durch eine ökologische Bewirtschaftung im Vergleich zur konventionellen gespeichert wurden. Eine weitere Speicherung von Kohlenstoff im Boden wurde durch den Anbau vielfältiger Kulturen im Ackerbau erreicht. Betriebe mit VK-Förderung verzeichneten eine höhere Humusbilanz als Betriebe ohne VK-Förderung. Bezogen auf alle geförderten VK-Betriebe resultiert hieraus eine zusätzliche Kohlenstoffspeicherung im Umfang von ca. 3.600 t C_{org}/a im betrachteten Jahr.

Die Bodenschutzkalkung kann langfristig auf rund 15.300 ha zu einer **Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe** beitragen. Dies lässt sich über die aus der Literatur belegten Wirkungsketten zeigen: Das Einbringen von Pufferverbindungen, insbesondere von Kalkstein, sorgt langfristig für eine Regeneration der versauerten Waldböden. Der Evaluation lagen allerdings keine Unterlagen (z. B. Gutachten) vor, die die Notwendigkeit der Bodenschutzkalkungen auf den betreffenden Flächen belegen konnten.

Für die Ausgleichszulage konnte keine Wirkung auf den Wassererosionsschutz oder die Kohlenstoffspeicherung im Boden abgeleitet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass über die Einhaltung der GLÖZ-Standards und die Lage in der Förderkulisse keine weiteren bodenbezogenen Förderbedingungen für den Erhalt der Prämie vorgesehen sind.

Die **investiven Maßnahmen** (Flurneuordnung und Kleine Infrastruktur) und **Europäische Innovationspartnerschaften** (EIP-Agri) hatten insgesamt eine gering positive Wirkung auf die betrachteten Bewertungskriterien. Vorteile einer **bodenschutzorientierten Bewirtschaftung konnten durch neue Schlageinteilungen** der Flurneuordnung und den Ausbau von Straßengräben in einigen Vorhaben belegt werden. Damit sind wiederum Vorteile für die Erosionsvorsorge verbunden. Die vorwiegend geringe und bei der Flurneuordnung indirekte Wirkung liegt zum einen an der nicht vorhandenen Bodenschutzprogrammierung der Maßnahmen und der dadurch fehlenden Adressierung der Wirkungsfaktoren wie z. B. Lenkung der Flächen auf die wichtigen Kulissen (Erosionsschutz). Zum anderen an den langen und z. T. indirekten Wirkungsketten Verfahren, Vorhaben und Projekte.

Wirksamkeit

Die Wirksamkeit bezeichnet die Wirkung zu den gesetzten Zielen. Dabei sind aus programmspezifischer Sicht folgende **Ergebnisindikatoren** vorgesehen:

R10: Prozentsatz der landwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten. Für diesen Ergebnisindikator werden aus diesem Bericht die Beiträge für die landwirtschaftlichen Flächen verwendet, welche durch die im SPB 4C programmierten Maßnahmen und deren Wirkungen (Wassererosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung im Boden) erreicht wurden. Das Monitoring gibt für den Indikator einen Wert von 95.310 ha an. Dies entspricht 2022 einem Anteil von 12,35 % der landwirtschaftlichen Fläche in Hessen (HMUKLV, 2023b). Um den Ergebnisindikator einzuordnen, sieht der EPLR den entsprechenden Zielindikator T12, mit einem Wert von 100.000 ha landwirtschaftliche Fläche, vor. Diese Fläche entspricht 12,96 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Hessens (HMUKLV, 2021a). Das bedeutet, dass der zum Ergebnisindikator gehörende Zielindikator mit den geförderten landwirtschaftlichen Flächen (gemäß Monitoringdaten) nicht erreicht wurde (vgl. Tabelle 27).

Der R10-Indikator ist rein output-basiert; die Zuordnung der Maßnahmen ergibt sich aus einer Ex-ante-Einschätzung des Wirkpotenzials. Die Analysen im vorliegenden Bericht, mit denen die Wirkungen auf der Grundlage der erfolgten Umsetzung abgeschätzt wurden, ergeben ausgehend von Tabelle 26 einen etwas höheren Flächenumfang (140.190 ha Ackerfläche). Hierbei wurden die Ackerflächen der Vielfältigen Kulturen sowie des Ökologischen Landbaus¹¹ zusammengezogen. Die Abweichung zum Monitoring besteht vor allem darin, dass die Ackerflächen der beiden Ressourcenschutzwirkungen addiert werden. Ohne diese Überschneidung waren es 125.858 ha Ackerfläche im Jahr 2022 (Basis: InVeKoS-Daten).

R11: Prozentsatz der forstwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten. Für diesen Ergebnisindikator ist die Bodenschutzkalkung vorgesehen. Das Monitoring berichtet für das Jahr 2022 einen Wert 21.669 ha, wobei hier eine Überschätzung der Fläche vorliegt, da die analysierten Flächen zusätzlich zu den gekalkten herangezogen wurden (HMUKLV, 2023b). Für den Zielindikator T13 sollen 21.000 ha erreicht werden, was 2,35 % der forstwirtschaftlichen Fläche entspricht, mit Bezug auf den Basiswert von 894.980 ha (HMUKLV, 2021a). Damit wurde formal der Zielwert erreicht (Tabelle 27). Basierend auf den tatsächlich gekalkten Waldflächen im Privat-, Körperschafts- und Kommunalwald, werden die 15.327 ha (vorhabensbezogene Förderdaten des Landes für 2022) herangezogen. Dies entspricht einem Prozentsatz von 1,7 % der forstwirtschaftlichen Fläche (HMUKLV, 2023a). Basierend auf den Angaben des Landes liegt somit eine Zielerreichung von 73 % vor, wenn der nach unten korrigierte Zielwert herangezogen wird (HMUKLV, 2023a).

Tabelle 27: Übersicht der Programmwirkung auf die bodenschutzrelevanten Ergebnisindikatoren

Nummer	Bezeichnung	Wert	Einheit	Jahr	Zielsetzung der Zielindikatoren	Zielerreichungsgrad [%]
R10	Prozentsatz der landwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten	95.310	ha	2022	100.000 ha landwirtschaftliche Fläche, 12,96 % der landwirtschaftlichen Fläche	95
R11	Prozentsatz der forstwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten	21.669 ¹⁾	ha	2022	21.000 ha forstwirtschaftliche Fläche, 2,35 % der forstwirtschaftlichen Fläche	103

1) Wert berücksichtigt nicht nur die gekalkten sondern zusätzlich auch die analysierten Flächen, weshalb dieser Wert nicht zur Angabe der Wirkung geeignet ist.

Quelle: Eigene Darstellung mit Werten aus dem Monitoring (HMUKLV, 2023b) und dem EPLR (HMUKLV, 2021a).

Gesetzliche, quantifizierte nationale Ziele oder Zielwerte für den Boden im Rahmen der Kohlenstoffspeicherung als Sektor oder Emissionspool für Hessen waren nicht vorhanden. In Bezug auf die gesetzliche, im Rahmen der EU durch den Green-Deal geforderten Reduzierung der Bodenerosion (EU-KOM, 2020) konnte belegt werden,

¹¹ Bei den Ackerflächen des Ökologischen Landbaus wurden nur die Ackerflächen mit der Lage in Hessen herangezogen (Näherungswert).

dass durch das Programm eine Fläche von insgesamt 13,6 % der CC_{Wasser1}- und CC_{Wasser2}-Kulisse erreicht wurde. Der Beitrag für den Wassererosionsschutz ist als gering einzustufen. Dies ist darin begründet, dass der Ökologischer Landbau an sich eine sehr wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Wassererosion ist, die allerdings eine zu geringe Reichweite erzielt. Für die Ackerflächen des Ökologischen Landbaus konnte ein Bodenabtrag von minimal 0,43 bis maximal 0,61 Mio. t/a durch den Schutz vor Wassererosion vermieden werden.

Die Wirkungen des Programms auf den **Basistrend** bzw. auf die **Kontextindikatoren** werden anhand der Wirkungsindikatoren I.12 Gehalt des Bodens an organischer Materie in Ackerland und I.13 Bodenerosion durch Wasser dargestellt. Für den Wirkungsindikator I.12 sind die beiden Maßnahmen VK (sekundäres Bodenschutzziel) und ÖKO (prioritäres Bodenschutzziel) relevant (Tabelle 28). Zusammen tragen sie 0,011 Mt organischen Kohlenstoff in den Boden ein und damit zum zweiten Unterindikator bei. Zum aktuellen C.41-Wert von ganz Deutschland ist dies ein sehr geringer Beitrag. Der erste Unterindikator kann mit den errechneten Angaben nicht bedient werden.

Tabelle 28: Übersicht der Programmwirkung auf die bodenschutzrelevanten Wirkungsindikatoren

Nummer	Bezeichnung	Einheit	Kontextindikator (Deutschland)		Wirkungsindikator (Hessen)	
			Wert	Jahr	Wert	Jahr
I.12	Soil organic matter in arable land		C. 41			
	total estimate of organic carbon content in arable land ¹⁾	Mt	1.004	2018	0,011	2022
	mean organic carbon content	g/kg	26,5	2018	-	-
I.13	Soil erosion by water		C.42			
	Estimated rate of soil loss by water erosion	t / ha / year	1,23 und 1,6 (Hessen)	2016	1,27 bis 4,56	2021
	Estimated agricultural area affected by a certain rate of soil erosion by water (> 11 t/ha/a) ²⁾	1.000 ha	0,3	2016	0,6 bis 4,6	2021
		% of the total agricultural area	1,4 und 1,8 (Hessen)	2016	0,08 bis 0,6	2021

1) Angegeben ist der zusätzliche Eintrag in Kohlenstoff in den Boden.

2) Basierend auf den ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen mit Abträgen über 11 t/ha/a. Bezugsgröße ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche von Hessen (2021).

Quelle: Eigene Darstellung mit den Werten von HMUKLV (2015), EU-COM (2015, 2018b, 2019, 2020) und HSL (2021).

Der Beitrag des Programms zur Kohlenstoffspeicherung im Boden kann anhand des Wertes des ersten C.41 Unterindikators von 620 Megatonnen durchschnittlichem Kohlenstoffgehalts im Ackerland (Bezugsrahmen Deutschland, 2018) gemessen werden. Der gesamte Kohlenstoffeintrag des Programms, umgerechnet in Megatonnen (0,011 Mt) ist im Vergleich dazu zu bewerten. Der Beitrag ist demnach als sehr gering positiv einzuschätzen. Zu beachten ist, dass mit dem Unterindikator der mittlere Gehalt im Boden (0 bis 20 cm) als Vorrat betrachtet wird (EU-COM, DG AGRI, 2023), wohingegen mit den Maßnahmen nur der zusätzliche Eintrag kalkuliert werden konnte. Diese beiden Größen sind nicht gleichzusetzen. Der vergleichsweise geringe Einfluss der Maßnahmen kann durch den Vergleich der Vorräte hessischer Ackerböden verdeutlicht werden. Im Unterboden (0 bis 30 cm) liegt ein Median von 51 t C_{org}/ha Vorrat vor (Glasner und Heller, 2022). Die betrachteten Maßnahmen liefern eine zusätzliche Menge von im Mittel 0,31 t C_{org}/ha und Jahr.

Der Kontextindikator C.42 Bodenerosion durch Wasser wird in Hessen mit einem Wert von 1,6 t/ha/a für das aktuell verfügbare Jahr 2016 angegeben (EU-COM, 2019). Auf den Ackerflächen des Ökologischen Landbaus wurde ein mittlerer Bodenabtrag von 1,27 bis 4,56 t/ha*a kalkuliert, was etwas über dem hessischen Wert für den ersten C.42 Unterindikator liegt. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Abträge des C.42 in Bezug auf die ganze landwirtschaftliche Nutzfläche bezogen sind, bei denen auch Grünlandflächen mit natürlicherweise geringem bis keinem Bodenabtrag mit einfließen. Die kalkulierten Bodenabträge beziehen sich hingegen nur auf die ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen, die bewirtschaftungsbedingt mehr Abtrag aufweisen als Grünlandflächen. Für den zweiten Unterindikator von C.42 wird eine Grenze von 11 t/ha/a aufgeführt. In Hessen lag die ökologisch bewirtschaftete Ackerfläche mit den hohen Bodenabtragsraten zwischen 628 ha und 4.606 ha.

Dies entsprach zwischen 0,08 % und 0,6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Hessens (HSL, 2021). Damit trägt der Ökologische Landbau nur in geringem Umfang zur Entwicklung des zweiten C.42 Unterindikators bei.

6 Kosten-Wirksamkeit (Effizienz)

In der Effizienzbetrachtung wird den Kosten die Wirksamkeit gegenübergestellt (zur Methode siehe Fährmann und Grajewski, 2013). Damit lässt sich die relative Effizienz von Maßnahmen oder Maßnahmenbündeln abbilden. Die Kosten umfassen die Implementationskosten (IK) der Verwaltung und die verausgabten öffentlichen Mittel. Die Implementationskosten wurden auf der Basis einer empirischen Erhebung (Fährmann und Grajewski, 2018) zum Aufwand aller mit der Umsetzung des EPLR Hessen befassten Einheiten ermittelt. Die Ergebnisse sind in Grajewski und Becker (2026) dargelegt.

Die Wirkungen auf den Bodenschutz (siehe Kapitel 5) beziehen sich zum einen auf die Vermeidung von Wassererosion und zum anderen auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden. Zwei Wirkungsindikatoren werden berechnet (siehe Kapitel 5.4 und Kapitel 0):

- max. vermiedener Bodenabtrag aufgrund von Wassererosion in Tonnen,
- gespeicherte Menge an Kohlenstoff im Boden in Tonnen.

Die Effizienzbetrachtung erfolgt für Maßnahmen, die mit einem Bodenschutzziel (sowohl prioritär als auch sekundär) programmiert wurden und die nach unseren Analysen auch Wirkungen zeigten. Dazu gehören drei investive Maßnahmen (Flurneuordnung, Kleine Infrastrukturen und Bodenschutzkalkung) und zwei Flächenmaßnahmen des Programms (Ökolandbau und Vielfältige Kulturen). Die Ausgleichszulage ist mit keinen für den Bodenschutz relevanten Auflagen versehen, die über die Cross-Compliance-Regelungen hinausgehen. Daher wurde ihr keine Wirkung zugemessen (siehe Kapitel 5.4.6).

6.1 Implementations- und Gesamtkosten

Die Implementationskosten liegen bei den Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel im Mittel bei 14 Euro je Hektar, mit Unterschieden zwischen den beiden Maßnahmen (siehe Tabelle 29). Die Vielfältigen Kulturen sind mit geringeren Umsetzungskosten verbunden im Vergleich zum Ökolandbau. Im Vergleich zu den Auswertungen in Grajewski und Becker (2026) liegen die hektarbezogenen Kosten geringer, weil der Flächenumfang in der Programmperiode deutlich gestiegen ist. Da die Antragsverfahren digital abgewickelt werden, ist nicht davon auszugehen, dass sich die für 2017 ermittelten Implementationskosten mit steigendem Flächenumfang auch gestiegen sind. Skaleneffekte sind also erkennbar. Bei den Gesamtkosten liegt der Ökolandbau über den Vielfältigen Kulturen, weil die Prämien je Hektar bei Ökolandbau deutlich höher liegen. Zu den möglichen Gründen finden sich Ausführungen in Grajewski und Becker, Kapitel 6.5 (2026).

Tabelle 29: Implementations- und Gesamtkosten von flächenbezogenen Maßnahmen mit Bodenschutzziel

Abkürzung	Maßnahme	Implementationskosten 2017 in Euro	Öffentliche Mittel ¹⁾ in Euro	Output ¹⁾	IK je Hektar Förderfläche in Euro	Gesamtkosten je Hektar Förderfläche in Euro	
VK	Vielfältige Kulturen	709.065	8.774.841	96.580	ha	7	98
ÖKO	Ökolandbau	2.212.552	26.482.334	116.962	ha	19	245
Gesamt InVeKoS		2.921.617	35.257.175	213.542	ha	14	179
8.5	Bodenschutzkalkung	236.009	576.733	1.711	ha	138	475

1) Wert zeigt den Höchststand im Jahr 2022 (InVeKoS) und die zugehörigen öffentlichen Mittel aus 2023. Bei der Bodenschutzkalkung wurde der Jahresdurchschnitt der öffentlichen Mittel und tatsächlich gekalkten Flächen zugrundegelegt.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Bodenschutzkalkung als investive Maßnahme weist einen Flächenbezug auf. Daher lassen sich die IK und die Gesamtkosten auch auf den Hektar beziehen. Ausgewiesen wurden die jahresdurchschnittlich öffentlichen Mittel und gekalkten Hektar. Die Implementationskosten und Gesamtkosten je Hektar liegen deutlich über den Kosten der beiden InVeKoS-Maßnahmen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Bodenschutzwirkungen der Vielfältigen Kulturen und des Ökolandbaus an die Gewährung der Prämie gebunden sind, während der Effekt der Bodenschutzkalkung in Abhängigkeit der Säurebelastung des jeweiligen Standorts erst nach sieben bis 20 Jahren aufgebraucht ist (Asche, 2003).

Flurneuordnung und Kleine Infrastrukturen können einen Beitrag zum Bodenschutz leisten. BMEL (2021b: S. 20) hebt in seiner Ackerbaustrategie beispielsweise die Potentiale der Flurbereinigung zum Erosionsschutz hervor. Dabei ist der Bodenschutz aber nur ein Ziel unter vielen. Die für 2017 erhobenen Implementationskosten beziehen sich auf die Umsetzung der gesamten Verfahren, also die Breite der Ausführungskosten, und lassen sich nicht nach für den Bodenschutz relevanten Vorhaben differenzieren. Wie in Kapitel 5.4.1 dargestellt wurde, sind es selten nicht die Vorhaben an sich, sondern die spezifische Ausführung innerhalb eines Verfahrensgebietes in Kombination mit anderen Maßnahmen, wie z. B. Entfernung von hangsenkrechten Strukturen und Schaffung langer hangparalleler Schläge (Richter, 2022). Anpflanzungen und Begrünungsmaßnahmen können zur einer verstärkten Kohlenstoffspeicherung im Boden beitragen. Mit den Kleinen Infrastrukturen können Wege, z. B. durch das Erneuern von Durchlässen, ertüchtigt werden, sodass es in Folge nicht mehr zu Rinnenerosionen kommt. Eine integrative Betrachtung und Bearbeitung der Erosionsproblematik sowie die Akzeptanzschaffung bleibt aber der Flurneuordnung mit ihrem Instrumentarium vorgehalten.

Eine spezifisch auf den Bodenschutz bezogene Kostenbetrachtung kann auf der Grundlage der vorliegenden Daten nicht erfolgen. Die Implementationskosten 2017 wurde für die Flurneuordnung und die Kleinen Infrastrukturen insgesamt erhoben, eine Differenzierung nach für den Bodenschutz besonders relevanten Vorhaben ist nicht möglich. Insgesamt kann aber ausgeführt werden, dass die Flurneuordnung und auch die Kleinen Infrastrukturen zu den Maßnahmen gehören, die vergleichsweise hohe relative Implementationskosten aufweisen (Grajewski und Becker, 2026, Tabelle 14). Insbesondere die Flurneuordnung lässt sich nur mit einem erheblichen Aufwand in die Fördersystematik der EU einpassen. So ist beispielsweise ein zweistufiges Kriterien-gestütztes Auswahlverfahren erforderlich, erst für die Verfahren an sich und dann für die Vorhaben an sich. Zu diesem Komplex hatte der EUGH (2017) eine Entscheidung getroffen, in Folge derer einige Bundesländer die Flurneuordnung wegen des hohen Aufwandes und des Anlastungsrisikos generell aus der EU-Finanzierung genommen haben. Im Bericht zur Inanspruchnahme (Schnaut et al., 2018) wurde ausgeführt, dass das Land Hessen mit hohem verwaltungstechnischen Aufwand ein zweistufiges Auswahlverfahren implementiert hat, dass den Forderungen der EU-KOM in vollem Umfang gerecht wird. Aus Evaluationsicht ist damit aber kein Effizienzgewinn verbunden, „da die Kriterien der Wirtschaftlichkeit und des effizienten Mitteleinsatzes auch vorher bereits in der Verfahrensauswahl sowie der Erstellung des Plans nach § 41 FlurbG implementiert waren“ (Schnaut et al., 2018, S. 36). Auswahlverfahren mit den Auswahlkriterien und Stichtagsregelungen haben zu einer starken Zergliederung in viele kleine Einzelvorhaben geführt, mit entsprechend großen Schwierigkeiten im Finanzmanagement und einer Vervielfachung der Vorgänge.

6.2 Vermiedener Bodenabtrag durch Wassererosion

Nur für den Ökolandbau konnte eine Wirkung auf die Verminderung des Risikos von Bodenabtrag durch Wasser berechnet werden. Auf den Hektar bezogen, können durch den Ökolandbau bis zu 30 Tonnen Bodenabtrag (Maximum) je Hektar und Jahr vermieden werden (siehe Tabelle 30).

Tabelle 30: Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Vermeidung von Wassererosion

Abkürzung	Maßnahme	Implementationskosten 2017 in Euro ¹⁾	Öffentliche Mittel in Euro ¹⁾	Wassererosion max. vermiedener Bodenabtrag pro Jahr in t	IK je Tonne vermiedener Bodenabtrag in Euro	Gesamtkosten je Tonne vermiedener Bodenabtrag in Euro
ÖKO	Ökolandbau	392.032	5.388.240	613.911	0,6	9

¹⁾ Die vermiedene Wassererosion konnte aufgrund von methodischen Restriktionen nur für 20.724 ha Ackerfläche berechnet werden. Die IK wurde auf der Grundlage von 17 Euro je Hektar ermittelt. Für die öffentlichen Mittel wurde eine Prämie von 260 Euro zugrundegelegt.

Quelle: Eigene Darstellung.

Der Ökologische Landbau leistet einen großen Beitrag zur Verhinderung von Erosion. Aufgrund seiner Reichweite kann er potenziell einen Bodenabtrag von maximal rund 0,6 Mio. Tonnen vermeiden. In der CC-Wasserkulisse werden 13,6 % der Fläche durch den Ökolandbau erreicht. Die IK je vermiedene Tonne Bodenabtrag liegen bei 0,6 Euro. Die Gesamtkosten liegen bei neun Euro je Tonne vermiedenem Bodenabtrag.

6.3 Kohlenstoffspeicherung im Boden

Ein Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden wurde für drei Gruppen berechnet: Konventionelle Betriebe, die an VK teilnehmen, Ökobetriebe, die an VK teilnehmen und reine Ökobetriebe. Diese Differenzierung ist erforderlich, weil die Analysen gezeigt haben, dass Ökobetriebe, die an VK teilnehmen, geringere Effekte bei der Kohlenstoffspeicherung aufweisen (siehe Kapitel 5.4.4).

Die Implementations- und Gesamtkosten je Tonne gespeicherter Kohlenstoff stellt Tabelle 31 dar. Am günstigsten schneidet der Ökologische Landbau (ohne VK) ab. Der wesentliche Grund ist, dass reine Ökobetriebe die höchsten Effekte bei der Kohlenstoffspeicherung je Hektar aufweisen. Bei den Kombinierten fallen die Kosten höher aus, die Effekte auf die Kohlenstoffspeicherung je Hektar sind geringer.

Tabelle 31: Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Kohlenstoffspeicherung im Boden

Abkürzung	Maßnahme	Implementationskosten 2017 ¹⁾ in Euro	Öffentliche Mittel ²⁾ in Euro	Kohlenstoffspeicherung im Boden gespeicherte Menge an Kohlenstoff pro Jahr	IK je Tonne gespeicherter Kohlenstoff in Euro	Gesamtkosten je Tonne gespeicherter Kohlenstoff in Euro
nur VK	Vielfältige Kulturen - Konventionelle Betriebe	571.170	7.001.802	3.576,1 t	160	2.118
ÖKO+VK	Kombinierer: Ökolandbau und Vielfältige Kulturen	668.463	8.098.688	3.191,4 t	209	2.747
ÖKO	reine Ökobetriebe	422.785	5.810.922	4.411,3 t	96	1.413
Gesamt		1.239.633	20.911.412	11.178,9 t	111	1.982

1) Zugrundegelegt wurden IK je ha in Höhe von 7 Euro bei den VK und 19 Euro bei Öko, multipliziert mit der zugrundegelegten Ackerfläche.

2) Mit Hilfe der Prämien kalkuliert: für VK 90 Euro, für die Kombinierten 315 Euro und für die Ökobetriebe 260 Euro, multipliziert mit der Ackerfläche.

Quelle: Eigene Darstellung nach Grajewski und Becker (2026).

6.4 Fazit

Eine Kosten-Wirksamkeitsbetrachtung für den Bodenschutz unterliegt verschiedenen Restriktionen. Die Kostenseite bildet, und das gilt sowohl für die Implementationskosten als auch die verausgabten Mittel, immer die gesamte Maßnahme ab. Bei den investiven Maßnahmen sind aber nur einzelne Vorhaben oder Aktivitäten für den Bodenschutz relevant, für die die Kosten einzeln nicht abgebildet werden können. Wirkungsseitig sieht die EU-KOM nur zwei Indikatoren vor, die für die Flächenmaßnahmen quantifiziert werden konnten, nicht aber für die investiven Maßnahmen. So bietet die Flurbereinigung vielfältige ganzheitliche Ansätze zum Bodenschutz, die aber nur qualitativ beschrieben werden konnten. Die Bodenschutzkalkung trägt zum Bodenschutz bei, indem sie den Säurezustand des Bodens verbessert und die Stabilität der Nährstoffkreisläufe erhöht.

Für die beiden Flächenmaßnahmen konnten Kosten für die Wassererosionsvermeidung und die Kohlenstoffspeicherung im Boden berechnet werden. Aufgrund der geringen Maßnahmenzahl ist die Aussagekraft allerdings begrenzt. Bei beiden Maßnahmen handelt es sich um produktionsintegrierte Maßnahmen. Interessant wäre ein Vergleich zu anderen HALM-Maßnahmen, wie beispielsweise Erosionsschutzstreifen, da diese spezialisierten Maßnahmen oftmals höhere Effekte je Hektar, gleichzeitig aber auch höhere Kosten aufweisen, wie beispielsweise Meyer et al. (2023) analysiert haben. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass, und dies gilt für die Flächenmaßnahmen und die investiven Maßnahmen gleichermaßen, Bodenschutz ein Ziel unter mehreren ist, diese multiplen Ziele in einer ausschließlich schutzgutbezogenen Betrachtung allerdings nur unzureichend abgebildet werden können.

7 Beitrag zur Beantwortung der Bewertungsfragen

7.1 Zusammenfassende Bewertung des Programms zum Bodenschutz

Im folgenden Kapitel wird die Bewertungsfrage 10 beantwortet.

Bewertungsfrage 10: Beitrag des Programms zur Verhinderung der Bodenerosion und zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung.

Der Beitrag des Programms zur Reduzierung von Wassererosion und zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung geht auf die Maßnahmen mit programmiertem Bodenschutzziel im SPB 4C zurück. Diese umfassen Flurneuordnung, Kleine Infrastrukturen, Bodenschutzkalkung, Vielfältige Kulturen und der Ökolandbau. Die Ausgleichszulage mit einem programmierten Bodenschutzziel hatte keine relevante Bodenschutzwirkung.

Der Aspekt **Bodenerosion** wird in Bezug auf das Bewertungskriterium der Wassererosion betrachtet. Entsprechende Wirkungsfaktoren, die durch die Maßnahmen bedient werden, sind die Erhöhung der Bodenbedeckung, die Verkürzung der erosiven Hanglänge sowie die Einführung/Umsetzung einer bodenschonenden Bewirtschaftung (vgl. Tabelle 10). Für die Beurteilung des Beitrags des Programms zum Wassererosionsschutz ist der **Ergebnisindikator R10** heranzuziehen „Prozentsatz der landwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten“. Für den R10-Indikator sind 140.190 ha Ackerfläche bzw. 17,8 % der LF Hessens anzurechnen. Gemessen am Wert des Zielindikators T12 (100.000 ha landwirtschaftliche Fläche, 12,96 % der LF) hat das Programm die gesetzten Ziele erreicht und sogar überschritten (vgl. Tabelle 26). Da für die Bewertung der Wassererosionsschutzwirkung die Fläche alleine nicht ausreichend ist, wurden weitere Analysen durchgeführt. Im Bereich der **Wassererosion** wurden als Messgrößen die erreichte Fläche in der CC_{Wasser}-Kulisse (Prozent) sowie der mithilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) kalkulierte potenzielle maximal vermiedene Bodenabtrag (in Tonnen gesamt sowie in Tonnen/Hektar) herangezogen. Insgesamt konnten ca. 14 % der ökologischen Ackerfläche zur Lage in der gesamten CC_{Wasser}-Kulisse (E_{nat}5.1 bis E_{nat}6.3) zugewiesen

werden. Mit diesen Flächen konnte ein potenzieller Bodenabtrag von minimal 0,43 Mio. t/a bis über 0,63 Mio. t/a gesamt erzielt werden, was einer Menge von ca. 14 bis ca. 30 t/ha entspricht.

Zum zweiten Aspekt der Verbesserung der Bodenbewirtschaftung wird das Bewertungskriterium der Steigerung der **Kohlenstoffspeicherung im Boden** herangezogen. Dafür sind die Wirkungsfaktoren Anbau humusmehrender Kulturen sowie das mehrjährige Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln) wichtig. Insgesamt wurden durch das Programm jährlich potenziell 11.179 t Humus C_{org} (Kohlenstoff) in den Boden eingetragen. Das Gros stellte der Ökolandbau dar, welcher einen Anteil von 68 % des potenziellen Kohlenstoffeintrags hatte.

Für die Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe im Wald wird die Teilmaßnahme Bodenschutzkalkung mit ihrem Beitrag von 15.327 ha gewertet (vorhabenbezogene Förderdaten des Landes, Monitoringwert lag bei 21.669 ha, wobei hier eine Überschätzung der Fläche vorliegt, da die analysierten Flächen zusätzlich zu den gekalkten herangezogen wurden). Sie trägt allein zur Erreichung des **Ergebnisindikators R11** „Prozentsatz der forstwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten“ bei. Für den Zielindikator T13 sollen 21.000 ha erreicht werden, was 2,35 % der forstwirtschaftlichen Fläche entspricht, mit Bezug auf den Basiswert von 894.980 ha (HMUKLV, 2021a). Basierend auf den Angaben des Landes liegt somit eine Zielerreichung von 73 % vor, was 1,7 % der forstwirtschaftlichen Fläche entsprach (HMUKLV, 2023a).

7.2 Zusammenfassende Bewertung aus Bodenschutzsicht zum Beitrag des Programms zur nachhaltigen Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen

Im folgenden Kapitel wird der Beitrag zur Beantwortung der Bewertungsfrage 28 aus Bodenschutzsicht formuliert.

Bewertungsfrage 28: In welchem Umfang hat das Programm zur Entwicklung des ländlichen Raums zum Ziel der GAP beigetragen, die nachhaltige Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und Klimaschutzmaßnahmen zu gewährleisten?

Der Beitrag des Programms geht auf die bodenschutzrelevanten Maßnahmen zurück. Diese umfassen Flurneuordnung, Kleine Infrastrukturen, Bodenschutzkalkung, Vielfältige Kulturen, Ökolandbau sowie Europäische Innovationspartnerschaften. Die Ausgleichszulage mit einem programmierten Bodenschutzziel hatte keine relevante Bodenschutzwirkung.

Dem Untersuchungsdesign folgend wird die Wirkung des Programms zur nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen anhand des Einflusses der Maßnahmen auf die Wirkungsindikatoren gemessen. Für den Bodenschutz sind die beiden **Wirkungsindikatoren** I.12 Gehalt des Bodens an organischer Materie in Ackerland und I.13 Bodenerosion durch Wasser zugewiesen.

Der Beitrag des Programms in Bezug auf den **Wirkungsindikator I.12 Gehalt des Bodens an organischer Materie in Ackerland** stellt sich positiv dar. Durch das Programm konnten im betrachteten Jahr potenziell insgesamt 11.179 t C_{org}/a bzw. 0,011 Mt C_{org}/a zusätzlich im Boden eingespeichert werden (vgl. Tabelle 28). Das Ergebnis basiert auf den Angaben der vereinfachten Humusbilanz, welche vorwiegend von den angebauten Kulturarten abhängig ist. Aufgrund nicht vorhandener Daten konnte nicht die Zufuhr des organischen Düngers berücksichtigt werden, was für eine vollständige vereinfachte Humusbilanzierung notwendig gewesen wäre. Der Beitrag geht nur von den betrachteten **Flächenmaßnahmen** Vielfältige Kulturen im Ackerbau und Ökolandbau und nur von den geförderten Ackerflächen aus. Der Ökologische Landbau wies den stärksten Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden auf, v. a. da ein deutlich höherer Anteil humusmehrender Kulturen angebaut wurde. Die **investiven Teilmaßnahmen** leisteten einen geringen aber nicht quantifizierbaren Beitrag zur Humusanreicherung im Boden. Allerdings ist dieser im Vergleich zu den Flächenmaßnahmen weniger deutlich, da mit den investiven Teilmaßnahmen andere Zielsetzungen verfolgt wurden. Im Schnitt war der Beitrag der

investiven Teilmaßnahmen (Flurneuordnung, Kleine Infrastrukturen) als gering positiv zu bewerten. Acht der 34 geförderten Vorhaben des EIP-Agri behandelten bodenschutzrelevante Themen. Die daraus resultierenden Bodenschutzwirkungen können sich erst langfristig nach Verbreitung der Innovationen entfalten. Der Beitrag des EIP-Agri ist daher als gering positiv zu bewerten.

Für den Wirkungsindikator **I.13: Bodenerosion durch Wasser, Anteil der Förderflächen auf besonders erosionsgefährdeten Flächen**, sind zwei Unterindikatoren vorgesehen (vgl. Tabelle 28):

- zum einen die geschätzte Rate an Bodenverlust durch Wassererosion, gemessen in Tonnen/Hektar/Jahr.
- zum anderen die geschätzte landwirtschaftlichen Nutzfläche, die durch eine gewisse Wassererosionsrate betroffen ist, sowohl in Hektar als auch in Prozent.

Für den ersten Unterindikator kann der quantifizierte Wert der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) herangezogen werden, welcher den kalkulierten minimalen und maximalen Bodenabtrag der ökologischen Ackerflächen pro Hektar und Jahr zum Jahr 2021 abbildet. In der Summe sind dies zwischen ca. 1,3 und ca. 4,6 t/ha*a. Der zweite Unterindikator wird bedient, indem die ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen mit Abtragwerten über 11 t/ha/a herangezogen werden. Dies waren zwischen 628 ha und 4.606 ha, was wiederum zwischen 0,08 % bis 0,6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Hessens entspricht. Der Wirkungsbeitrag des Ökologischen Landbaus geht zum einen auf die hohe Bodenbedeckung und zum anderen auf seine hohen Anteile in der erosionsgefährdeten Kulisse zurück. Ein Beitrag der **investiven Maßnahmen** zum Schutz des Bodens vor Wassererosion geht von einzelnen Vorhaben aus. Beispiele sind die umgesetzten Maßnahmen im Rahmen der Flurneuordnung (z. B. neue Schlägeinteilung, Gewässerrandstreifen, Anpassung der Bearbeitungsrichtung in Hanglagen, Umwandlung von Ackerland zu Grünland) oder der Kleinen Infrastrukturvorhaben (gezieltes Ableiten von Niederschlagswasser). Die Wirkungen sind demnach als gering positiv einzustufen. Bei der EIP-Agri-Förderung ist das erfolgreiche Etablieren der Innovationen in der Praxis die Voraussetzung für eine Wirkung in der Fläche, weshalb auch hier der Wirkungsbeitrag als gering positiv einzustufen ist.

Zur vereinfachten Bodenbewirtschaftung trägt auch die **Bodenschutzkalkung** im Wald bei. Durch das Einbringen der Pufferverbindungen auf kalkungswürdigen Waldflächen, welche auf Grundlage einer gutachterlichen Stellungnahme erfolgen, und besonders empfindliche Bereiche von der Förderung ausgeschlossen sind, werden die **Nährstoffkreisläufe stabilisiert** und langfristig die versauerten Böden regeneriert. Die Stellungnahmen lagen der Evaluation nicht vor, weshalb die Notwendigkeit zur Kalkung nicht beurteilt werden konnte. In den Jahren bis 2022 wurden 15.327 ha förderfähige Waldfläche basierend auf den vorhabenbezogenen Förderdaten des Landes gekalkt.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aufbauend auf den Erkenntnissen des Kapitels 5 werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die jeweiligen Maßnahmen bzw. für das Gesamtprogramm abgeleitet. Sie werden nacheinander aufgeführt und dabei jeweils für die betrachteten Bewertungskriterien thematisiert. Die Empfehlungen beinhalten auch notwendige Anpassungen der Maßnahmen für die nächste FP und den Regelungsrahmen, um den geforderten Bodenschutzbeitrag des Programms zu erweitern.

Die Mitgliedstaaten/Bundesländer haben innerhalb des gesetzten EU-Rahmens große Freiheitsgrade, ihre Förderpolitik auszugestalten. Dies betrifft zum einen das grundsätzliche Verhältnis zwischen ordnungsrechtlichen Festlegungen und freiwilligen Maßnahmen, zum anderen auch die Detailausgestaltung von Maßnahmen im Rahmen der zweiten Säule (Bundesländer) und seit 2023 auch der Ökoregelungen der ersten Säule der GAP (Bund) zum Bodenschutz.

In der FP ab 2023 werden zwar einige der hier betrachteten Maßnahmen nicht vergleichbar im Rahmen des GAP-Strategieplans angeboten, u. a. weil diese teilweise durch die national angebotenen Maßnahmen der

Ökoregelungen ersetzt wurden. Die Empfehlungen können aber sowohl im Fachrecht als auch in Fördermaßnahmen berücksichtigt werden, um den Bodenschutz zu verbessern.

Anhebung der Konditionalität im Rahmen der bodenbezogenen GLÖZ-Standards

Die GLÖZ-Standards als Basis für die Konditionalität sind sehr gut geeignet, die Handlungsfelder Erosionsschutz und Kohlenstoffspeicherung im Boden zu bedienen, da über 98 % der LF in Hessen über die Direktzahlungen erreicht wurden (DESTATIS, 2024). Hier wäre eine Anhebung der GLÖZ-Standards aus Bodenschutzsicht sinnvoll, um das Umweltniveau insgesamt anzuheben. Beispielsweise könnten bei den neuen $K_{\text{Wasser}1}$ - und $K_{\text{Wasser}2}$ -Kulissen mit den folgenden Elementen gearbeitet werden (Westphal, 2009; Honecker et al., 2022; Berens et al., 2022; Steininger und Wurbs, 2023):

- Erweiterung der zeitlich verpflichtenden Bodenbedeckungszeit
- Verpflichtende Bewirtschaftung quer zum Hang
- Konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat
- Streifenbearbeitung im Sinne des Belassens einer bodenschützenden Mulchauflage
- Schlagteilung in Hangrichtung bei großen Schlägen.

Anbieten weiterer bodenbezogener Maßnahmen und Erhöhung des ELER-Budgets für den Bodenschutz

Die zweite Säule hat ein hohes Potenzial Maßnahmen mit Bodenschutzziel umzusetzen. Dies konnte am Beispiel der Vielfältigen Kulturen im Ackerbau und dem Ökologischen Landbau gezeigt werden. Bedient werden dort die für den Bodenschutz relevanten Wirkungsfaktoren. Allerdings wurden die von Wassererosion stark gefährdeten Ackerflächen mit den Maßnahmen zu wenig erreicht. Hier ist es angebracht, neue, zusätzliche Maßnahmen anzubieten, die mehr Fläche erreichen (siehe nächster Absatz) um auch dem Handlungsbedarf gerecht zu werden. Mit Anhebung des Gesamtbudgets für bodenbezogene Maßnahmen im Rahmen des ELER, kann die Reichweite der Maßnahmen gesteigert werden.

In der neuen Förderperiode sind unter HALM 2 C mehrere Teilmaßnahmen enthalten, welche sich positiv auf den Erosionsschutz und die Kohlenstoffspeicherung im Boden auswirken. Dazu gehören neben der (angepasst) fortgeführten Förderung Vielfältiger Kulturen im Ackerbau mit einem Modul zum Wassererosionsschutz auch die mehrjährigen Blühstreifen und -flächen sowie die Erosions- und Gewässerschutzstreifen. Durch das Bedienen der Wirkungsfaktoren (Erhöhung der Bodenbedeckung, Verkürzung der erosiven Hanglänge, Anbau humusmehrender Kulturen, mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln)) sind positive Wirkungsbeiträge zu erwarten (HALM-RL 2022; Fräncke, 2025). Zudem sind weitere Maßnahmen denkbar, wie z. B. verstärkter Zwischenfruchtanbau mit humusmehrenden Kulturen.

Weitere bodenschutzrelevante Themen wie Bodenverdichtung und Flächenversiegelung werden durch den ELER nur randständig adressiert. Geringfügig thematisiert wird die Flächenversiegelung beispielweise im Rahmen der kleinen Infrastrukturen (TM 7.2). Darüber hinaus gibt es Möglichkeiten, diese Bedarfe im Rahmen von Maßnahmen (investiv oder AUKM) aufzugreifen, z. B. in Form von Förderung bodenschonender Bewirtschaftungsmaßnahmen oder Finanzierung von Entsiegelungsvorhaben.

Umbau des bodenbezogenen Maßnahmenangebots, Erweiterung der räumlichen Reichweite

Lenkung auf die erosionsgefährdeten Flächen

Die Budgetierung der Maßnahme könnte abhängig von der Erosionsgefährdung aufgestellt werden. Das heißt, basierend auf den vorhandenen E_{nat} -Stufen bzw. der K_{Wasser} -Kulisse (Wassererosion) könnte sich die Prämienhöhe abhängig von der erreichten Gefährdungsstufe bemessen. In der Maßnahme müssten dann unterschiedliche Sätze pro Hektar abhängig von der Erosionsgefährdungsstufe vorgesehen werden. Ein Ansatz ist bereits in einem Modul in der Förderung der Vielfältigen Kulturen im Ackerbau vorhanden, welches die Einhaltung von einem

durchschnittlichen C-Faktor von höchstens 0,2 auf Flächen der Erosionsschutzkulisse $K_{\text{Wasser}2}$ (bei C-Faktor größer als 0,25 zusätzlich Mulchsaatverfahren) und eine Bewirtschaftung parallel zum Hang fordert (Fränzke, 2025).

Prämie für stark erosionsgefährdete Böden

Der o. g. Ansatz ist auch für die stark durch Wasser erosionsgefährdeten Flächen denkbar. Hier bietet sich, äquivalent zu der Ausgestaltung der Maßnahmen abhängig von den E_{nat} -Stufen, auch eine gestaffelte Prämie an, die von der geförderten Fläche innerhalb der jeweiligen E_{nat} -Stufen abhängig ist. Dazu wäre eine steigende Prämienhöhe mit zunehmender Förderfläche innerhalb der jeweiligen E_{nat} -Stufe möglich.

Stärkere Integration der Erosion und Kohlenstoffspeicherung im Boden in die Beratung

Um die Themen Bodenerosion und Kohlenstoffspeicherung im Boden/humusschonende Bodennutzung stärker in den Fokus zu stellen, bietet auch eine stärkere Verknüpfung mit der landwirtschaftlichen Beratung ein Potenzial. Da die Beratung außerhalb des EPLR landesfinanziert ist, liegen der Evaluation keine Informationen darüber vor.

Aktualität der Themen wertschätzen

Auch in den nächsten Jahren werden die Ziele Wassererosionsschutz und Kohlenstoffspeicherung im Boden aktuell sein. Die 2024 verabschiedete Verordnung über die Wiederherstellung der Natur (restoration law, VO (EU) Nr. 2024/1991) arbeitet zum Beispiel die Wichtigkeit der natürlichen Kohlenstoffspeicher und -senken für die Bekämpfung des Klimawandels heraus und wählt den Vorrat an organischem Kohlenstoff als Indikator (EU, 2024). Das zeigt, dass es aktuell notwendiger denn je ist, im ersten Schritt den standorttypischen Humusgehalt in landwirtschaftlichen Böden zu erreichen (Drexler et al., 2020) und im zweiten Schritt diesen durch kohlenstoffspeichernde Maßnahmen dauerhaft zu erhöhen (Wüstemann et al., 2023). Dies ist wichtig, da der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden in deutschen Ackerböden gesunken ist (Flessa et al., 2018). Zudem muss auch der Eintrag an C_{org} in den Boden in Zukunft erhöht werden, da aufgrund des Klimawandels höhere Temperaturen zu einer schnelleren Zersetzung der organischen Substanz im Boden durch Mikroorganismen führen. Nur so kann das aktuelle Niveau an Vorräten an Bodenkohlenstoff erhalten werden (Riggers et al., 2021).

Weiterhin sind die Bemühungen im Wassererosionsschutz voranzutreiben, da es im Zuge des Klimawandels zu häufigeren und stärkeren Starkregenereignissen im Sommer kommen wird (aufgrund der sich stärker erwärmenden Atmosphäre) und auch im Winter verstärkt erosionsauslösende Niederschlagsereignisse (größerer R-Faktor) auftreten werden (Auerswald et al., 2019).

Zudem wird die Notwendigkeit zum Handeln in der Landwirtschaft in den deutschen Strategien thematisiert: In der Ackerbaustrategie 2035 wurde als wichtiges Handlungsfeld das Thema Boden mit der Steigerung des Humusgehalts als zentraler Faktor zur Bodenfruchtbarkeit benannt und auch im Rahmen der Biodiversitätsstrategie 2030 werden wichtige bodenbezogene Themen aufgegriffen (BMEL, 2021b; BMUV, 2024).

Literaturverzeichnis

- AFZ - DerWald (ed) (2020) Bodenschutzkalkung. AFZ Der Wald 2020(10-12)
- AG Erosionsschutz (2017) Erosionsschutz verbessern – Abfluss in der landwirtschaftlichen Flur bremsen: Handlungsempfehlungen der Arbeitsgruppe Erosionsschutz, zu finden in <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/handlungsempfehlungen_ag_erosionsschutz_abgabe_19-01-2017_.pdf> [zitiert am 22.12.2022]
- Agra-Europe Biodiversitätsstrategie der EU für das Jahr 2020. 23: Dok 1-Dok 9
- AgrarZahlVerpflV: Verordnung über die Einhaltung von Grundanforderungen und Standards im Rahmen unionsrechtlicher Vorschriften über Agrarzahlen (2014), zu finden in <<https://www.gesetze-im-internet.de/agrarzahlverpflv/AgrarZahlVerpflV.pdf>> [zitiert am 14.12.2022]
- AGZ-RL 2015: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von landwirtschaftlichen Betrieben in benachteiligten Gebieten (Ausgleichszulage) (2015)
- Arbeitsgruppe BEK (2016) Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft, zu finden in <www.ktbl.de> [zitiert am 2.9.2019]
- Asche N (2003) Bodenschutzkalkung in Nordrhein-Westfalen, hg. v. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), zu finden in <https://www.waldbauernlotse.de/system/files/media/document/file/bodenschutzkalkung_in_nrw_stand_08-2003_0.pdf> [zitiert am 4.8.2025]
- Auerswald K, Ebertseder T, Levin K, Yuan Y, Prashuhn V, Plambeck NO, Menzel A, Kainz M (2021) Summable C factors for contemporary soil use. Soil & Tillage Research 213, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198721002282>> [zitiert am 16.7.2021]
- Auerswald K, Fischer FK, Winterrath T, Elhaus D, Maier H, Brandhuber R (2019) Klimabedingte Veränderung der Regenerosität seit 1960 und Konsequenzen für Bodenabtragsschätzungen. Bodenschutz, Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser
- Baritz R, Prokop G, Romkens P, Amelung W, Trombetti M, Hijbeek R, Vries W de, Swartjes F, Römbke J, Steinhoff-Knopp B, Horn R (2023) Soil monitoring in Europe – Indicators and thresholds for soil health assessments, hg. v. European Environment Agency (EEA), zu finden in <<https://www.eea.europa.eu/publications/soil-monitoring-in-europe>> [zitiert am 18.1.2023]
- Bathke M (2020) Fallstudien zur Förderung der ländlichen Infrastrukturen Teilmaßnahme 7.2, Investitionen in die Schaffung, Verbesserung oder Ausdehnung aller Arten von kleinen Infrastrukturen: Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014 bis 2020. Braunschweig: Thünen-Institut für Ländliche Räume (TI-LR), 5-Länder-Evaluation 3/2020, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2020/3_2020-HE-Berichte-aus-der-Evaluation-Wegebau-2.pdf> [zitiert am 12.5.2022]
- Bathke M, Tietz A (2010) Teil II - Kapitel 5 Flurneuordnung (125 B). In: Institut für Ländliche Räume des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (ed) Halbzeitbewertung des EPLR Hessen, Entwicklungsplan für den ländlichen Raum 2007 bis 2013 im Rahmen der 7-Länder-Bewertung. Braunschweig, zu finden in <http://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler/Publikationen_de/Projektberichte_de/2010/HE/DE/HE_Teil_II_Kap_05_125_B_FNO.pdf> [zitiert am 2.9.2019]
- Bathke M, Tietz A (2016) Ex-post-Bewertung EPLR Hessen 2007 bis 2013: Modulbericht 5.5_MB@ Maßnahmenbewertung Flurneuordnung (ELER-Code 125 B). Braunschweig, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/7-Laender-Bewertung/2016/HE/5-5_MB_c_Flurneuordnung.pdf> [zitiert am 2.9.2019]
- Baum S, Wegmann J, Zinnbauer M, Steinhoff-Knopp B, Strassemeyer J (2025) Evaluierung der Gemeinsamen Agrarpolitik aus Sicht des Umweltschutzes III: Abschlussbericht, hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Texte, zu finden in <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/142_2025_texte.pdf> [zitiert am 11.11.2025]
- BBodSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodeveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz) (1998), zu finden in <<https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf>> [zitiert am 28.11.2022]

- Beck R, Rippel R (2014) Humusbilanz-Methode zur Optimierung von Bodenfruchtbarkeit und Umweltwirkung in Bayern: Stand: 11/2024, hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) [zitiert am 14.7.2025]
- Berens S, Bollmann K, Team Pflanzenbau, Pflanzen- und Wasserschutz OWL, Bezirksstelle für Agrarstruktur OWL (2022) Erosionsschutz: Eine Herausforderung für unsere Region. Kreisstellen Höxter/Lippe/Paderborn, hg. v. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW), zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/hoexter/pdf/2022-03-30-broschuere-erosionsschutz-hx-lip-pb.pdf>>
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2016) Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ für den Zeitraum 2016 - 2019: Sonderrahmenplan: Maßnahmen des Küstenschutzes in Folge des Klimawandels (2009 - 2025) Sonderrahmenplan: Maßnahmen des präventiven Hochwasserschutzes. Bonn, 183 p, zu finden in <<https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/GAB-0002000-2016.pdf>> [zitiert am 17.7.2020]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2019a) Nationale Rahmenregelung der Bundesrepublik Deutschland - ELER (NRR) 2014-2020: Version 6.1 Von der Europäischen Kommission angenommen. Zuletzt geändert am 03.06.2019, 282 p
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2019b) Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ 2019-2022, hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)Referat 811 53123 Bonn, zu finden in <<https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/GAB-0002000-2019.pdf>>
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2021a) GAK Berichterstattung 2021: Förderbereich 4: Markt- und standortangepasste sowie umweltgerechte Landbewirtschaftung einschl. Vertragsnaturschutz und Landschaftspflege. Ausgaben insgesamt [zitiert am 11.8.2025]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2021b) Ackerbaustrategie 2035: Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau, zu finden in <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ackerbaustrategie2035.pdf?__blob=publicationFile&v=8> [zitiert am 25.11.2022]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2021c) Waldstrategie 2050 Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima. Bonn: BMEL, zu finden in <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2050.pdf?__blob=publicationFile&v=9> [zitiert am 10.4.2024]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft], BLE [Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung] (2020) Ackerbohne, Erbse & Co.: Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland, hg. v. BMEL, zu finden in <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/EiweisspflanzenstrategieBMEL.pdf?__blob=publicationFile&v=4> [zitiert am 10.5.2023]
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2007) Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Reihe Umweltpolitik, zu finden in <http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf> [zitiert am 1.10.2021]
- BMUV [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz] (2024) Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt 2030: Beschluss des Bundeskabinetts vom 18. Dezember 2024. NBS 2030, zu finden in <https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nbs_2030_strategie_bf.pdf> [zitiert am 1.4.2025]
- BNatSchG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) (2009), zu finden in <http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf> [zitiert am 2.9.2019]
- Böhm H, Dauber J, Dehler M, Amthauer Gallardo DA, Witte Td, Fuß R, Höppner F, Langhof M, Rinke N, Rodemann B, Rühl G, Schittenhelm S (2020) Fruchtfolgen mit und ohne Leguminosen: ein Review. Journal für Kulturpflanzen 72(10-11):489-509. doi: 10.5073/JFK.2020.10-11.01, zu finden in <<https://ojs.openagrar.de/index.php/Kulturpflanzenjournal/article/view/15557/15295>> [zitiert am 19.6.2025]
- Brand-Sassen H (2004) Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft - Stand und Verbesserungsmöglichkeiten, Georg-August-Universität Göttingen (Uni Göttingen). Diplomarbeit, zu finden in <<http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2004/brandt-sassen/brandt-sassen.pdf>> [zitiert am 2.9.2019]
- Brügge K, Don A (2025) Einfluss der ökologischen Landwirtschaft auf den Bodenkohlenstoff – Ergebnisse aus Bodeninventuren in Deutschland, hg. v. Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI). Thünen Report, zu finden in <https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Th%C3%BCnen_Report_125.pdf>

- Brunotte J (2007) Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* (305)
- Brunotte J, Duttmann R, Ellmer F, Emmerling C, Felgentreu D, Henke W, Hommel B, Honecker H, Koch H-J, Kolbe H, Kratz S, Kuhwald M, Kuka K, List M, Marx K, Ortmeier B, Schäfer BC, Schrader S, Schroetter S, Senger M, Severin K, Urban B, Vorderbrügge T, Voßhenrich H-H (2022) Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit, hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 2. Aufl., zu finden in <<https://www.ble-medienservice.de/simplifiedownloadable/freedownload/link/hash/a73ae8430ff9715bd41e98afe9fe353c/>> [zitiert am 9.2.2024]
- Conant RT, Paustian K, Elliott ET (2001) Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications*:343-355, zu finden in <<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1051-0761%282001%29011%5B0343%3AGMACIG%5D2.0.CO%3B2>> [zitiert am 25.11.2024]
- DESTATIS (2024) Statistischer Bericht - Landwirtschaftliche Betriebe - Förderprogramme - 2023: Landwirtschaftliche Betriebe insgesamt und deren landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) sowie Empfänger/-innen von Direktzahlungen (InVeKoS) und Junglandwirte/-innen im Sinne der EU (VO) 1307/2013 und deren jeweilige LF in den Jahren 2021 bis 2023 nach Art der Bewirtschaftung und Größenklassen der LF. 41121-0902 R; zu finden in <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/statistischer-bericht-foerderprogramme-5411206239005.xlsx?__blob=publicationFile> [zitiert am 27.8.2024]
- DESTATIS [Statistisches Bundesamt] (2022) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Wachstum und Ernte - Feldfrüchte - [zitiert am 15.7.2022]
- DIN 19708:2005-02: DIN 19708 Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung der Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG (2005)
- Don A, Poeplau C, Flessa H (2021) Humus. Erfassen, erhalten und fördern. *DGL-Mitteilungen*, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/352705349_Erfassen_erhalten_und_fordern_-_Humusaufbau_ist_positiv> [zitiert am 8.11.2022]
- Drexler S, Broll G, Don A (2020) Standorttypische Humusgehalte landwirtschaftlich genutzter Böden Deutschlands. *Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen Report* 75, zu finden in <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062138.pdf> [zitiert am 19.5.2025]
- Drexler S, Broll G, Flessa H, Don A (2022) Benchmarking soil organic carbon to support agricultural carbon management: A German case study. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, zu finden in <https://www.researchgate.net/profile/Gabriele-Broll/publication/360259999_Benchmarking_soil_organic_carbon_to_support_agricultural_carbon_management_A_German_case_study/links/6274f9ed107cae29198dd7f6/Benchmarking-soil-organic-carbon-to-support-agricultural-carbon-management-A-German-case-study.pdf> [zitiert am 25.1.2022]
- DüV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) (2017), zu finden in <https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf> [zitiert am 17.5.2021]
- DVO (EU) Nr. 808/2014: Durchführungsverordnung (EU) Nr. 808/2014 der Kommission vom 17. Juli 2014 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) (2014), zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0808&from=en>> [zitiert am 2.9.2019]
- DVS [Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume] (2024) Zuordnung der EIP-Projekte nach Themenbereichen und Bundesländern (Stand: Januar 2024). E-Mail vom 21.02.2024
- Dynarski KA, Bossio DA, Scow KM (2020) Dynamic Stability of Soil Carbon: Reassessing the “Permanence” of Soil Carbon Sequestration. *Front. Environ. Sci.* 8:514701. doi: 10.3389/fenvs.2020.514701, zu finden in <<https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2020.514701/full>>

- Eberhardt W (2022) Umsetzung der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-Agri) – Zwischenbilanz 2021/22. Entwicklungsplan für den ländlichen Raum (EPLR) des Landes Hessen 2014 bis 2020. 5-Länder-Evaluation, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2022/6_2022_HE_EIP_Bericht_V7-2023.pdf> [zitiert am 14.6.2024]
- EU-COM [European Commission] (2015) Common context indicators for rural development programs (2014-2020): CCI 41 - Soil organic matter in arable land. JRC based on LUCAS Land use survey 2015 (last update: 2020). Joint Research Centre (JRC), zu finden in <https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/52acae3f-4b68-4cb8-b90e-736962c41e35_en?filename=cap-indicators-c41_2019_en.xlsx> [zitiert am 28.2.2025]
- EU-COM [European Commission] (2018a) Common monitoring and evaluation framework, zu finden in <https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cmef_en> [zitiert am 6.10.2020]
- EU-COM [European Commission] (2018b) context indicators 41: soil organic carbon in arable land: Map 2 -organic carbon stocks in cropland (g/kg), 2018. NUTS 2 Ebene, Germany, zu finden in <<https://agridata.ec.europa.eu/extensions/IndicatorsEnvironmental/SoilOrganicMatter.html>> [zitiert am 28.1.2025]
- EU-COM [European Commission] (2019) Common context indicators for rural development programs (2014-2020): CCI 42 - Soil erosion. Stand: 2019, zu finden in <https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/fd20e275-115a-4bdd-af9e-364650794270_en?filename=cap-context-indicators-table_2019_en.pdf> [zitiert am 26.8.2024]
- EU-COM [European Commission] (2020) CAP Indicators. Data Explorer, zu finden in <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardIndicators/DataExplorer.html?select=EU27_FLAG,1> [zitiert am 7.10.2020]
- EU-COM, DG AGRI [European Commission, DG Agriculture and Rural Development] (2023) CMEF 2014-2020 - Context indicators (update January 2023). European Commission, zu finden in <https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/1e3d1b8a-6813-4493-a3d8-2dcdf6279189_en?filename=context-indicator-fiches_en.pdf>
- EUGH [Europäischer Gerichtshof] (2017) EGFL und ELER - Von der Finanzierung ausgeschlossene Ausgaben - Entwicklung des ländlichen Raums - Flurbereinigungen und Dorferneuerungen - Auswahlkriterien für Vorhaben - Urteil des Europäischen Gerichtshof zur Flurbereinigung in der Rechtssache T - 28/16. Luxemburg, zu finden in <<http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?text=&docid=189473&pageIndex=0&doclang=DE&mode=req&dir=&occ=first&part=1>> [zitiert am 2.9.2019]
- EU-KOM [Europäische Kommission, GD Landwirtschaft und Ländliche Entwicklung] (2021) Glossar. Schlüsselwörter zur Bewertung der LE-Programme 2014-2020. Brüssel, zu finden in <https://enrd.ec.europa.eu/sites/default/files/evaluation_publications/glossary_evaluation_de_jan2021.pdf>
- EU-KOM [Europäische Kommission] (2017) Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die Umsetzung der Verpflichtung zur Ausweisung ökologischer Vorrangflächen im Rahmen der Regelung für Ökologisierungszahlungen (grüne Direktzahlungen): COM(2017) 152 final, zu finden in <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=COM:2017:152:FIN&from=EN>> [zitiert am 21.11.2022]
- EU-KOM [Europäische Kommission] (2020) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und Ausschuss der Regionen.: EU-Biodiversitätsstrategie für 2030. Mehr Raum für die Natur in unserem Leben, 28 p, zu finden in <https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF> [zitiert am 2.6.2020]
- EU-KOM, DG Agri [EUROPEAN COMMISSION – Directorate-General for Agriculture and Rural] (2024) Rough estimates of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027 period – Summary report for 19 CAP Strategic Plans, zu finden in <https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/7289aad3-2fa7-415a-9247-996b110e83d6_en?filename=report-rough-ghf-estimate-eu-18_en.pdf> [zitiert am 2.12.2024]
- Europäischer Rechnungshof (EuRH) (2023) Bemühungen der EU um eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung: Wenig ambitionierte Standards und nur begrenzte Zielausrichtung. Luxemburg. Sonderbericht 2023, Nr. 19, zu finden in <https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-19/SR-2023-19_DE.pdf> [zitiert am 21.12.2023]

- Evans R, Collins AL, Foster IDL, Rickson RJ, Anthony SG, Brewer T, Deeks L, Newell-Price JP, Truckell IG, Zhang Y (2016) Extent, frequency and rate of water erosion of arable land in Britain - benefits and challenges for modelling. *Soil Use Manage* 32:149-161. doi: 10.1111/sum.12210
- Extremwetterrichtlinie-Wald: Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Bewältigung der durch Extremwetterereignisse verursachten Folgen im Wald in Hessen (2019), zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2021-09/extremwetterrichtlinie-wald_.pdf> [zitiert am 24.6.2021]
- Fährmann B, Grajewski R (2013) How expensive is the implementation of rural development programmes? Empirical results on implementation costs and their consideration in the evaluation of rural development programmes. *European Review of Agricultural Economics* 40(4):541-572, zu finden in <<https://doi.org/10.1093/erae/jbs045>> [zitiert am 19.2.2016]
- Fährmann B, Grajewski R (2018) Schriftliche Erhebung des Personalaufwandes und der Implementationskosten (Fachreferate, Bewilligungsstellen, Koordinierende Stellen, Zuständige Behörde, Zahlstelle, Bescheinigende Stelle, Verwaltungsbehörde) der Bundesländer Hessen, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen/Bremen und Schleswig-Holstein, 2018
- Feindt PH, Grohmann P, Häger A, Krämer C (2021) Verbesserung der Wirksamkeit und Praktikabilität der GAP aus Umweltsicht: Abschlussbericht. Forschungskennzahl 3717 11 239 0, hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Texte, zu finden in <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-14_texte_91-2021_wirksamkeit_gap.pdf> [zitiert am 4.10.2021]
- Feldwisch N, Frick H (2002) Wissenschaftliche Auswertung eines abgeschlossenen Feldversuchs und Zusammenfassung von Ergebnissen des Verbundvorhabens „Boden- und Stoffabtrag von Ackerflächen“: Wissenschaftliche Auswertung des Teilprojektes 1 „Ausmaß des Boden- und Stoffabtrags von Ackerflächen“. Abschlussbericht zum Vorhaben
- FiRiLi 2015: Richtlinien für die Finanzierung in Verfahren nach dem Flurbereinigungsgesetz, dem ländlichen Charakter angepassten Infrastrukturmaßnahmen und auf räumliche und thematische Schwerpunkte beschränkte integrierte ländliche Entwicklungskonzepte vom 24.07.2015 in der Fassung vom 05.01.2016 (Finanzierungsrichtlinien - FiRiLi 2015) [zitiert am 28.8.2017]
- Flessa H, Don PA, Jacobs A, Dechow R, Tiemeyer B, Poeplau C (2018) Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung, hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
- FlurbG: Flurbereinigungsgesetz (2008), zu finden in <<https://www.gesetze-im-internet.de/flurbg/FlurbG.pdf>> [zitiert am 2.9.2020]
- Forst-RL: Richtlinie für die forstliche Förderung in Hessen (2025), zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2025-07/rl_forstliche_foerderung_v-27.05.2025_barrierefrei-final.pdf> [zitiert am 28.7.2025]
- Franz K (2019) Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014 bis 2020: Evaluation der forstlichen Förderung. Hamburg: Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF), 5-Länder-Evaluation 6/2019, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2019/6_19_HE-Berichte_aus_der_Evaluation-Forst_20190327.pdf> [zitiert am 5.8.2025]
- Fräncke M (2025) HALM 2 – Neuer Rechner für HALM 2 C.1 und ÖR 2 verfügbar (Version 8. Mai 2025): HALM 2 fördert die nachhaltige Landbewirtschaftung. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH), zu finden in <<https://llh.hessen.de/unternehmensfuehrung/agrarpolitik-und-foerderung/halm-2/halm-2-rechner/>> [zitiert am 22.7.2025]
- Friedrich K, Heyn J, Hüther J, Mollenhauer K, Schaumberg G, Vorderbrügge T, Zerr W (2006) Bodenerosion in Hessen: Einschätzung und Vorsorge, hg. v. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH), zu finden in <<https://cdn.llh-hessen.de/pflanze/boden-und-duengung/boden-und-humus/erosionsschutz/Broschuere%20Bodenerosion%20in%20Hessen%20-%20Einschaetzung%20und%20Vorsorge%2006-05-24.pdf>> [zitiert am 11.6.2025]

- FZJ [Forschungszentrum Jülich] (2012) Modellgestützte Analyse signifikanter Phosphorbelastungen in hessischen Oberflächengewässern aus diffusen und punktuellen Quellen. FZ Juelich, zu finden in <http://www.fz-juelich.de/ibg/ibg-3/EN/Research/Research%20Topics/Modelling%20and%20management%20of%20catchments/ModellierungUndPrognoseVonN%C3%A4hrstoffeintr%C3%A4genInsGrundwasserUndInOberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser/Link4/_node.html> [zitiert am 11.4.2014]
- Gattinger A, Muller A, Haeni M, Skinner C, Fließbach A, Buchmann N, Mäder P, Stolze M, Smith P, Scialabba NE-H, Niggli U (2012) Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. Proc Natl Acad Sci U S A 109(44):18226-18231. doi: 10.1073/pnas.1209429109
- Gensior A (2022) Daten für den National Inventory Report 2022, LULUCF Emissionen je Bundesland: Emissionen und Senken im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). E-Mail vom 11.11.2022
- Gensior A (2025) Daten für den National Inventory Report 2024, LULUCF Emissionen je Bundesland, Treibhausgasemissionen [t CO₂-Eq.] infolge LULUCF, differenziert nach Landnutzungskategorien (gemäß 2006 IPCC Guidelines und 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories). E-Mail vom 08.04.2025
- Glasner B, Heller C (2022) Organische Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden Hessens - Ergebnisse der ersten deutschlandweiten „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“, hg. v. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). Nachrichten aus Hessen
- Grajewski R, Becker S (2026) Implementation des Entwicklungsprogramms für den Ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022: Aufwand, Kosten und Bestimmungsfaktoren. (in Vorbereitung) [zitiert am 26.7.2024]
- Haller L, Moakes S, Niggli U, Riedel J, Stolze M, Thompson M (2020) Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. Dessau-Roßlau, 152 p. UBA-Texte 32/2020, zu finden in <<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklungsperspektiven-der-oekologischen>> [zitiert am 23.12.2020]
- HALM-RL 2015: Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflege-Maßnahmen HALM. Richtlinien vom 21. September 2015
- HALM-RL 2022: Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflege-Maßnahmen HALM 2. Richtlinien vom 15.12.2022 (2022)
- Hegg C, Jeisy M, Waldner P (2004) Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Birmensdorf, zu finden in <<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/6184.pdf>> [zitiert am 2.9.2019]
- Hess. Eros Verord CC: Verordnung zur Einteilung landwirtschaftlicher Flächen nach dem Grad der Erosionsgefährdung (2010) [zitiert am 10.4.2014]
- Hessisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung - Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz: HAltBodSchG (2007) In: GVBl. I, zu finden in <https://www.rv.hessenrecht.hessen.de/jportal/recherche3doc/AltLast-BodSchG_HE.pdf?json=%7B%22format%22%3A%22pdf%22%2C%22params%22%3A%7B%22fixedPart%22%3A%22true%22%7D%2C%22docPart%22%3A%22X%22%2C%22docId%22%3A%22jlr-AltLast_BodSchGHErahmen%22%2C%22portalId%22%3A%22bshe%22%7D&_=%2FAltLast-BodSchG_HE.pdf> [zitiert am 11.6.2025]
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) (2025) BodenViewer Hessen, zu finden in <<https://bodenviewer.hessen.de/mapapps/resources/apps/bodenviewer/index.html?lang=de>> [zitiert am 25.7.2025]
- Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMLU) (2024a): Extremwetter: Waldbesitzende bekommen weiter Unterstützung. Pressemitteilung [zitiert am 17.7.2025]
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landwirtschaft (HMWVW) (2024) Investitionen in Wachstum und Beschäftigung in Hessen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014 bis 2020: Liste der Vorhaben gemäß Artikel 115 (2) der Verordnung (EU) Nr. 1303/2013 (Stand: 23.07.2024) [zitiert am 18.6.2025]
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum (HMWEVW) (o.J.) EFRE-Europäischer Strukturfonds- Förderschwerpunkte: 4. Förderschwerpunkt, nachhaltige Stadtentwicklung., zu finden in <<https://wirtschaft.hessen.de/Wirtschaft/EFRE-Europaeischer-Strukturfonds/EFRE>> [zitiert am 18.6.2025]
- HLNUG [Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie] (o.J.) Bodenerosion, zu finden in <<https://www.hlnug.de/themen/boden/gefaehrdung/bodenerosion>> [zitiert am 5.6.2025]

- HLNUG [Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie] (2023) Bodenerosionsatlas 2023, zu finden in <<https://bodenviewer.hessen.de/mapapps/resources/apps/bodenviewer/index.html?lang=de>> [zitiert am 5.6.2025]
- HMLU [Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat] (2024b) HALM: Das Wichtigste im Überblick. Stand 15.02.2024, zu finden in <https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2024-04/Das_Wichtigste%20im_Ueberblick_2024_neue%20HALM%202-RL_Stand%2015.02.24.pdf> [zitiert am 10.5.2024]
- HMLU [Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat] (2024c) Jährlicher Durchführungsbericht für 2023: Gemäß Artikel 50 der Verordnung (EU) Nr. 1303/2013, Artikel 75 der Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 und Anhang VII der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 808/2014. Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014-2020, verlängert bis 2022, zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2024-08/he_jb23_final_1.pdf> [zitiert am 6.11.2024]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2014) Hessen - Bäume, Wälder, Lebensräume - ausgewählt Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur (BWI³) für Hessen, zu finden in <<http://www.hessen-forst.de/service-aktuelles-1206,186,9.html>> [zitiert am 10.4.2024]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2015) Programme zur Entwicklung des ländlichen Raums: Hessen. Version 1.5 [zitiert am 25.3.2024]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2017) Jährlicher Durchführungsbericht Germany - Rural Development Programme (Regional) - Hesse (Zeitraum 01/01/2016 - 31/12/2016). Wiesbaden, zu finden in <https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/he_jb16_2014-2020_he_final_29.06.2017_0.pdf> [zitiert am 2.9.2019]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (ed) (2018a) Richtlinie für die Bewirtschaftung des Staatswaldes: RiBeS 2018, zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2021-06/richtlinie_fuer_die_bewirtschaftung_des_staatswaldes.pdf> [zitiert am 17.6.2025]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2018b) Waldzustandsbericht 2018, zu finden in <https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfv/publikationen/pdf/paar_2018_waldzustandsbericht_2018.pdf> [zitiert am 10.4.2019]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2019) EPLR Hessen 2014 bis 2020. Jährlicher Durchführungsbericht für 2018: gemäß Artikel 50 der Verordnung (EU) Nr. 1303/2013, Artikel 75 der Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 und Anhang VII der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 808/2014. Wiesbaden, zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2022-09/erweiterter_jaehrlicher_durchfuehrungsbericht_eplr_2018.pdf> [zitiert am 14.7.2025]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2020) Programme zur Entwicklung des ländlichen Raums: Germany - Rural Development Programme (Regional) - Hesse. Version 5.1 [zitiert am 21.3.2024]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2021a) Entwicklungsplan für den ländlichen Raum (EPLR) des Landes Hessen 2014 - 2022: (Programme zur Entwicklung des ländlichen Raums, Deutschland, Hessen). Version 7.1, zuletzt geändert am 10.08.2021
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2021b) Waldzustandsbericht 2021 für Hessen, zu finden in <<https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-11/wzbhessen2021.pdf>> [zitiert am 10.1.2022]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2023a) Förderdaten der ELER-Maßnahmen TM 8.5 (Bodenschutzkalkung) 2015 bis 2022 zusammengefasst (unveröffentlicht)., hg. v. HMUKLV [zitiert am 04.2024]
- HMUUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2023b) Jährlicher Durchführungsbericht für 2022: Gemäß Artikel 50 der Verordnung (EU) Nr. 1303/2013, Artikel 75 der Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 und Anhang VII der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 808/2014. Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014-2020, verlängert bis 2022, zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2023-08/jaehrlicher_durchfuehrungsbericht_fuer_2022.pdf> [zitiert am 12.12.2025]

- Honecker H, List M, Hendrichke, Caroline, Sengner, Marion, Vorderbrügge T, Busch M, Brandhuber R, Bug J, Schrader S, Weyer T, Brunotte J, Schmidt W (2022) Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), zu finden in <https://www.ble-medien-service.de/frontend/esddownload/index/id/1695/on/3614_DL/act/dl> [zitiert am 6.3.2023]
- Honermeier B, Kern D, Russo M (2020) Ertrags- und Qualitätssicherung bei Winterweizen und Mais durch optimierten Einsatz von Gärresten in Hessen: OG Gärreste-Düngung bei Weizen und Mais. Abschlussbericht [zitiert am 28.7.2025]
- HSL [Hessisches Statistisches Landesamt] (2021) Statistische Berichte: Bodennutzung in Hessen 2021 – Endgültiges Ergebnis –. Dezember 2021. Wiesbaden:, zu finden in <https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/HEHeft_derivate_00010603/CI1_2_j21_a.pdf> [zitiert am 12.8.2025]
- Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiermeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig. Thünen Report 64
- Jansone L, Wilpert Kv, Hartmann P (2020) Natural Recovery and Liming Effects in Acidified Forest Soils in SW-Germany. Soil Syst. 4(3):38. doi: 10.3390/soilsystems4030038
- Klein C, Pätzold S, Brümmer GW (1999) Pflanzenschutzmittel und Nährstoffe in Oberflächen- und Zwischenabfluss von Böden unter Ackernutzung im Bergischen Land (NRW) sowie Retentionswirkung von Filterstreifen: Abschlussbericht. im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen [zitiert am 3.1.2023]
- Kolbe H, Zimmer J (2015) Leitfaden zur Humusversorgung: Informationen für Praxis, Beratung und Schulung, hg. v. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 1. Aufl., zu finden in <<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25484/documents/35267>> [zitiert am 31.1.2025]
- Körschens M, Albert E, Armbruster M, Barkusky D, Baumecker M, Behle-Schalk L, Bischoff R, Čergan Z, Ellmer F, Herbst F, Hoffmann S, Hofmann B, Kismanyoky T, Kubat J, Kunzova E, Lopez-Fando C, Merbach I, Merbach W, Pardor MT, Rogasik J, Rühlmann J, Spiegel H, Schulz E, Tajnsek A, Toth Z, Wegener H, Zorn W (2013) Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. Archives of Agronomy and Soil Science 59(8):1017-1040. doi: 10.1080/03650340.2012.704548, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/263141835_Effect_of_mineral_and_organic_fertilization_on_crop_yield_nitrogen_uptake_carbon_and_nitrogen_balances_as_well_as_soil_organic_carbon_content_and_dynamics_results_from_20_European_long-term_field_expe> [zitiert am 26.11.2024]
- Körschens M, Rogasik J, Schulz E Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz. In: Landbauforschung Völknerode 55: pp 1-10, zu finden in <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/zi036604.pdf> [zitiert am 26.6.2025]
- Krauss M, Wiesmeier M, Don A, Cuperus F, Gattinger A, Gruber S, Haagsma WK, Peigné J, Palazzoli MC, Schulz F, van der Heijden M, Vincent-Caboud L, Wittwer RA, Zikeli S, Steffens M (2022) Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. Soil and Tillage Research 216:105262. doi: 10.1016/j.still.2021.105262, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721003354>>
- Kravcov N, Windpassinger S, Hüppe C (2024) KornSORGHUM für Hessen: Abschlussbericht [zitiert am 28.7.2025]
- KSG 2019: Bundes-Klimaschutzgesetz (2020), zu finden in <<https://www.bmu.de/gesetz/bundes-klimaschutzgesetz/>> [zitiert am 15.12.2020]
- Kühne S, Stein M, Friedrich B, Michel B, Moog D, Döffinger L, Saure C (2018) Hecken und Raine in der Agrarlandschaft: Bedeutung - Neuanlage - Pflege, hg. v. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), zu finden in <<https://www.ble-medien-service.de/simpliedownloadable/freedownload/link/hash/45fc10cb69a97059a57cb181ed449647/>> [zitiert am 22.1.2025]
- Lakner S (2018) Greening und Ökosystemleistungen: Über die Wirkung der ökologischen Vorrangfläche als privates oder öffentliches Gut: Diskussionspapiere, hg. v. Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Georg-August-Universität Göttingen (Uni Göttingen), zu finden in <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/190684/1/1043606343.pdf>> [zitiert am 21.11.2022]
- Lenka NK, Fernández-Gentino García AP (2021) Recarbonizing global soils - a technical manual of recommended management practices: Practices overview. Volume 3, cropland, grassland, integrated systems and farming

- approaches. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 631 p, zu finden in <<https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb6595en>>
- LfL [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft] (ed) (2006) Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe, zu finden in <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_21843.pdf> [zitiert am 26.11.2024]
- LfL [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft] (ed) (2023) Bodenerosion: Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung - ABAG - Hilfsmittel und Handlungsempfehlung. Neuauflage 2023, zu finden in <<https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/bodenerosion-lfl-information.pdf>> [zitiert am 6.3.2023]
- LfULG [Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie] (ed) (2010) Erosionsschutz in reliefbedingten Abflussbahnen: Schriftreihe, Heft 13/2010
- Lori M, Symnaczyk S, Mäder P, Deyn G de, Gattinger A (2017) Organic farming enhances soil microbial abundance and activity-A meta-analysis and meta-regression. PLOS ONE 12(7). doi: 10.1371/journal.pone.0180442
- Lugato E, Bampa F, Panagos P, Montanarella L, Jones A (2014) Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. Glob Chang Biol (20):3557-3567, zu finden in <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12551>> [zitiert am 25.11.2024]
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2007) Bodenerosion durch Wasser: Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/broschuere-bodenerosion.pdf>> [zitiert am 10.11.2022]
- Meyer I, Sinabell F, Streicher G, Spiegel H, Bohner A (2023) Kohlenstoffsequestrierung in Österreichs Acker- und Grünlandböden: Bedeutung und ökonomische Effekte ausgewählter Maßnahmen. WIFO Monatsberichte, zu finden in <https://www.wifo.ac.at/wp-content/uploads/upload-5675/mb_2023_03_05_kohlenstoffsequestrierung_.pdf> [zitiert am 16.5.2025]
- Meyer M (2000) Entwicklung und Modellierung von Planungsszenarien für die Land- nutzung im Gebiet der Bornhöveder Seenkette. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, zu finden in <https://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00000373/d373.pdf> [zitiert am 20.2.2023]
- Nitsch H, Röder N, Oppermann R, Milz E, Baum S, Lepp T, Kronenbitter J, Ackermann A, Schramek J (2017) Naturschutzfachliche Ausgestaltung von Ökologischen Vorrangflächen: Endbericht zum gleichnamigen F+E-Vorhaben (FKZ 3514 8241 00), hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BfN). BfN-Skripten, zu finden in <<https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript472.pdf>> [zitiert am 21.11.2022]
- NW-FVA [Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt] (ed) (2023) Schlussbericht zum Vorhaben Waldbodenkalkung als Maßnahme zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit der Wälder an den Klimawandel und zur Sicherung und Erhöhung der CO₂-Speicher- und Senkenfunktion der Wälder.: Teilvorhaben 1: Stabilisierung der Kohlenstoffsequestrierung in der ober- und unterirdischen Biomasse. Förderkennzeichen: 22WB407501. Laufzeit:01.05.2017 bis 30.06.2021
- NW-FVA [Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt], HMUKLV [Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz] (2023) Waldzustandsbericht 2023 für Hessen, hg. v. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), zu finden in <https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2023-11/waldzustandsbericht_hessen_bf.pdf> [zitiert am 6.8.2025]
- Olson KR, Al-Kaisi MM, Lal R, Lowery B (2014) Experimental Consideration, Treatments, and Methods in Determining Soil Organic Carbon Sequestration Rates 78(2):348-360
- Paar U, Evers J, Dammann I, König N, Schulze A, Schmidt M, Schönfelder E, Scheler B, Ullrich T, Eichhorn J (2016) Waldbodenzustandsbericht für Hessen- Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 15

- Paul C, Bartkowski B, Dönmez C, Don A, Mayer S, Steffens M, Weigl S, Wiesmeier M, Wolf A, Helming K (2023) Carbon farming: Are soil carbon certificates a suitable tool for climate change mitigation? *Journal of Environmental Management* 330:117142. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.117142, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722027153?via%3Dihub>> [zitiert am 30.10.2023]
- Peng Y, Rieke EL, Chahal I, Norris CE, Janovicek K, Mitchell JP, Roozeboom KL, Hayden ZD, Strock JS, Machado S, Sykes VR, Deen B, Tavarez OB, Gamble AV, Scow KM, Brainard DC, Millar N, Johnson GA, Schindelbeck RR, Kurtz KS, van Es H, Kumar S, van Eerd LL (2023) Maximizing soil organic carbon stocks under cover cropping: insights from long-term agricultural experiments in North America. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 356:108599. doi: 10.1016/j.agee.2023.108599, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788092300258X>> [zitiert am 26.6.2025]
- Poeplau C, Don A (2015) Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200(1):33-41
- Poeplau C, Don A, Vesterdal L, Leifeld J, Wesemael B v., Piertzak S, Lauf J, Oenema O (2011) Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global change biology* 17(7):2415-2427
- Poeplau C, Sofie L, Harbo, Schneider F, Marcus, Schiedung, Don A, Heilek S, Dechow R, Vasylyeva E, Heidkamp A, Prietz R, Flessa H (2025) Zwischenbericht der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft Wiederholungsinventur: Thünen Working Paper 277, hg. v. Thünen Institut für Agrarklimaschutz. Thünen Working Paper, zu finden in <https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/Th%C3%BCnen_Working_Paper_277.pdf>
- Pufahl A, Raue P, Fengler B, Eberhardt W, Roggendorf W, Reiter K, Sander A, Rorig F, Grajewski R, Bergschmidt A, Bathke M, Fynn L-L, Schwarze S, Scholz J (2023) Feinkonzept zum Bewertungsplan: EPLR - Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014 - 2020. Überarbeitung 10/2023 (unveröffentlicht). Braunschweig, 185 p
- Puhlmann H, Hartmann P, Mahlau L, Wilpert Kv, Huber A, Moos JH, Jansone L, Drews L (2021) Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung in den Wäldern Baden-Württembergs: Evaluierung der Umsetzung und der Wirksamkeit des Kalkungsprogramms in den Jahren 2010 bis 2019, hg. v. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), zu finden in <https://www.fva-bw.de/fileadmin/user_upload/Abteilungen/Boden_und_Umwelt/Evaluierung_Bodenschutzkalkung.pdf> [zitiert am 10.4.2024]
- Regierungspräsidium Kassel (RP-Kassel) (2023) Förderung GAK: Förderung der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK). zu finden in <<https://rp-kassel.hessen.de/natur/naturschutzfoerderung/foerderung-gak>> [zitiert am 17.7.2025]
- Reiter K, Sander A (2022) Wirkung der Ausgleichszulage auf die Erhaltung von Dauergrünland: Entwicklungsplan für den ländlichen Raum (EPLR) des Landes Hessen 2014 bis 2020. Braunschweig: Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen (TI-LV), 5-Länder-Evaluation 1/2022, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2022/01_2022_AGZ_He_V9.pdf> [zitiert am 12.5.2022]
- Richter U (2022) Notwendigkeit, Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung von Maßnahmen zur Erosionsvermeidung in Flurbereinigungsverfahren: Necessity, Possibilities and Limits for the Implementation of Measures to Prevent Erosion in Land Consolidation Processes. *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv)* 147:261-267, zu finden in <https://geodaesie.info/system/files/privat/zfv_2022_4_Richter.pdf>
- Richter U (2024) Erosionsvermeidung in Flurbereinigungsverfahren: Planung und Umsetzung von Maßnahmen in Hessen, hg. v. Bundesverband Boden e.V. (BVB). Bodenschutz [zitiert am 4.9.2024]
- Riggers C, Poeplau C, Don A, Frühauf C, Dechow R (2021) How much carbon input is required to preserve or increase projected soil organic carbon stocks in German croplands under climate change?, hg. v. Springer Nature. *Plant and Soil* [zitiert am 16.7.2025]
- Röder N, Ackermann A, Baum S, Wegmann J, Strassemeyer J, Pöllinger F (2021) Geringe Umweltwirkung, hohe Kosten: Ergebnisse und Empfehlungen aus dem Projekt „Evaluierung der Gemeinsamen Agrarpolitik aus Sicht des Umweltschutzes II“, hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Texte [zitiert am 27.8.2024]
- Röder N, Ackermann A, Birkenstock M, Dehler M, Ledermüller S, Rudolph S, Schmidt T, Nitsch H, Pabst H, Schmidt M (2019) Evaluierung der GAP-Reform aus Sicht des Umweltschutzes – GAPEval, 292 p. UBA-Texte, zu finden in <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-17_58-2019_gapeval.pdf> [zitiert am 7.1.2025]

- Roggendorf W, Scholz J, Schwarze S (2024) Analyse der Inanspruchnahme von Vielfältigen Kulturen im Ackerbau und Ökologischem Landbau (Akzeptanzanalyse): Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Hessen 2014 - 2020. 5-Länder-Evaluation, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2024/11-2024_HE_Akzeptanzanalyse.pdf> [zitiert am 24.6.2024]
- Roggendorf W, Schwarze S (2026) Beitrag des EPLR Hessen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung: Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022. (in Vorbereitung)
- Rorig F (2024) Beitrag der forstlichen Förderung zur Wettbewerbsfähigkeit des Forstsektors sowie zum Umwelt- und Ressourcenschutz: Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen (EPLR) 2014 bis 2020. Braunschweig, Hamburg. 5-Länder-Evaluation 5/2024, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2024/5-2024_HE_Beitrag_Forst.pdf> [zitiert am 13.6.2024]
- RPDA [Schäfer, Jan] (2024) Beratungsleitfaden für einen gewässerschutzorientierten Weinbau in Hessen, hg. v. Regierungspräsidium Darmstadt (RP Darmstadt), 80 p, zu finden in <https://rp-darmstadt.hessen.de/sites/rp-darmstadt.hessen.de/files/2024-03/rpda_beratungsleitfaden_fuer_einen_gewaesserschutzorientierten_weinbau.pdf> [zitiert am 3.9.2025]
- Sanders J, Heß J (eds) (2019) Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. Braunschweig, Germany: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 1361 p. Thünen Report 65
- Schmaltz E, Krammer C, Dersch G, Weinberger C, Kuderna M, Strauss P (2023) The effectiveness of soil erosion measures for cropland in the Austrian Agri-environmental Programme: A national approach using local data. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (355), zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923002499?via%3Dihub>> [zitiert am 15.12.2023]
- Schnaut G, Fähmann B, Bathke M, Eberhardt W, Ebers H, Fengler B, Flint L, Forstner B, Franz K, Grajewski R, Peter H, Pufahl A, Reiter K, Roggendorf W, Sander A (2018) Analyse der Inanspruchnahme und Umsetzung. Entwicklungsplan für den ländlichen Raum des Landes Hessen 2014 – 2020. Braunschweig: Thünen-Institut für Ländliche Räume (TI-LR); Thünen-Institut für Betriebswirtschaft (TI-BW); Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF); entera Umweltplanung & IT, 5-Länder-Evaluation 7/2018, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2018/2018-08-20_Bericht_zu_Inanspruchnahme_EPLR_HE_Enwurf_Ueberarbeitung2_TI_RW_20190320.pdf> [zitiert am 12.5.2022]
- Schwenger Y (2026) Beitrag des EPLR Hessen zum Wasserschutz: Entwicklungsplan für den ländlichen Raum Hessen 2014 bis 2020, verlängert bis 2022. (in Vorbereitung)
- Schwertmann U, Vogl W, Kainz M (1990) Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen: unter Mitwirkung von K. Auerswald und W. Mart. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 153
- Seitz D, Fischer LM, Dechow R, Wiesmeier M, Don A (2022) The potential of cover crops to increase soil organic carbon storage in German croplands. *Plant and Soil*:1-17. doi: 10.1007/s11104-022-05438-w, zu finden in <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-022-05438-w>> [zitiert am 11.11.2022]
- Seitz S, Goebes P, Puerta VL, Pereira EIP, Wittwer R, Six J, Marcel G. A. van der Heijden, Scholten T (2019) Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development* 39(4), zu finden in <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-018-0545-z>> [zitiert am 22.11.2024]
- Siemons A, Böttcher H, Liste V, Jörß W (2023) Short Typology of Carbon Dioxide Removals: How to best differentiate methods and technologies for establishing and enhancing carbon sinks? Teil des Forschungsprojektes „Wissenschaftliche Begleitung zur Ausgestaltung des Zertifizierungsrahmens für Kohlenstoffeinbindungen in der EU“ (FKZ 3722425150)., hg. v. Umweltbundesamt (UBA) [zitiert am 28.8.2024]
- Skadell LE, Schneider F, Gocke MI, Guigue J, Amelung W, Bauke SL, Hobbey EU, Barkusky D, Honermeier B, Kögel-Knabner I, Schmidhalter U, Schweitzer K, Seidel SJ, Siebert S, Sommer M, Vaziritabar Y, Don A (2023) Twenty percent of agricultural management effects on organic carbon stocks occur in subsoils – Results of ten long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 356:108619. doi: 10.1016/j.agee.2023.108619, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923002785>> [zitiert am 26.6.2025]
- Skowronek A, Schelmer K (2000) Untersuchungsvorhaben „Bodenerosionsdynamik in einer typischen Fruchtfolge sowie Wirkung von Filterstreifen auf Abfluss und Feststoffaustrag“: Abschlussbericht. im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen

- Steinhoff-Knopp B, Bug J (2017) Gute Nachrichten für den Boden (?) – Erkenntnisse aus 17 Jahren Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen: Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission VI. Horizonte des Bodens, 2. – 7. September 2017, Göttingen, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/320426304_Gute_Nachrichten_fur_den_Boden_-_Erkenntnisse_aus_17_Jahren_Bodenerosionsdauerbeobachtung_in_Niedersachsen> [zitiert am 10.11.2022]
- Steinhoff-Knopp B, Kuhn TK, Burkhard B (2021) The impact of soil erosion on soil-related ecosystem services: development and testing a scenario-based assessment approach. *Environ Monit Assess* 193(Suppl 1):274. doi: 10.1007/s10661-020-08814-0, zu finden in <https://www.researchgate.net/journal/Environmental-Monitoring-and-Assessment-1573-2959/publication/351579317_The_impact_of_soil_erosion_on_soil-related_ecosystem_services_development_and_testing_a_scenario-based_assessment_approach/links/609f57c5a6fdcccacb551cf0/The-impact-of-soil-erosion-on-soil-related-ecosystem-services-development-and-testing-a-scenario-based-assessment-approach.pdf>
- Steininger M, Wurbs D (2017) Bodenerosion durch Wind: Sachstand und Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), zu finden in <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/merkblatt_bodenerosion_durch_wind_web.pdf> [zitiert am 5.10.2020]
- Steininger M, Wurbs D (2023) Umsetzung von Schutzmaßnahmen gegen Wassererosion und Sturzfluten: Erfahrungen aus Sachsen-Anhalt. *Bodenschutz* 28(1):19-24. doi: 10.37307/j.1868-7741.2023.01
- Stolte J, Tesfai M, Øygarden L, Kværnø S, Keizer J, Verheijen F, Panagos P, Ballabio C, Hessel R (2016) Soil threats in Europe: Status, methods, drivers and effects on ecosystem services. A review report, deliverable 2.1 of the RECare project, hg. v. European Commission (EU-COM), zu finden in <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0c21db96-a4a6-11e5-b528-01aa75ed71a1/language-en>> [zitiert am 18.1.2023]
- Sucker C, Puhlmann H, Zirlwagen D, Wilpert Kv, Feger K-H (2009) Bodenschutzkalkungen in Wäldern zur Verbesserung der Wasserqualität - Vergleichende Untersuchungen auf Einzugsgebietsebene. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* (53):250-262, zu finden in <http://boku.forst.tu-dresden.de/Boden/pdf/HyWa_4_09_Sucker_et_al.pdf> [zitiert am 27.11.2009]
- Tiefenbacher A, Sandén T, Haslmayr H-P, Miloczek J, Wenzel W, Spiegel H (2021) Optimizing Carbon Sequestration in Croplands: A Synthesis: review. *Agronomy* [zitiert am 29.10.2024]
- Toepel K (2000) Analyse von Synergieeffekten zur Verbesserung der Evaluationsqualität hochkomplexer Förderprogramme-Das Ziel-1-und Ziel-2-Programm in Berlin.: Papier für die 4. Konferenz zur Evaluation der Strukturfonds: Bewertung für Qualität
- Treis J, Titze M, Krieger C, Katzauer J, Käpplein R (2020) Regionalen Anbau ermöglichen, Arbeitsplätze für Menschen mit Behinderung schaffen, Verarbeitung gestalten, Absatz erschließen: Biogemüse. Abschlussbericht [zitiert am 28.7.2025]
- UBA [Umweltbundesamt] (2020) Entwicklungsperspektiven der ökologischen Landwirtschaft in Deutschland. UBA-Texte 32/2020, zu finden in <<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklungsperspektiven-der-oekologischen>> [zitiert am 23.12.2020]
- VDLUFA [Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten] (2014) Humusbilanzierung: Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt, zu finden in <<https://www.vdlufa.de/Dokumente/Veroeffentlichungen/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>> [zitiert am 24.4.2019]
- Verordnung (EU) 2024/1991 des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Juni 2024 über die Wiederherstellung der Natur und zur Änderung der Verordnung (EU) 2022/869: EU (VO) 2024/1991. In: Amtsblatt der Europäischen Union, zu finden in <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401991> [zitiert am 29.8.2024]
- VO (EG) Nr. 834/2007: Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 (2007), zu finden in <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0834>> [zitiert am 7.1.2025]
- VO (EU) 2018/848: Verordnung (EU) 2018/848 des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates (2018), zu finden in <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848&from=DE>> [zitiert am 7.1.2025]

- VO (EU) Nr. 1303/2013: Verordnung (EU) Nr. 1303/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 mit gemeinsamen Bestimmungen über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, den Europäischen Sozialfonds, den Kohäsionsfonds, den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums und den Europäischen Meeres- und Fischereifonds sowie mit allgemeinen Bestimmungen über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, den Europäischen Sozialfonds, den Kohäsionsfonds und den Europäischen Meeres- und Fischereifonds und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1083/2006 des Rates
- VO (EU) Nr. 1305/2013: Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 über die Förderung der ländlichen Entwicklung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 (2013)
- VO (EU) Nr. 1306/2013: Verordnung (EU) Nr. 1306/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 über die Finanzierung, die Verwaltung und das Kontrollsystem der Gemeinsamen Agrarpolitik und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 352/78, (EG) Nr. 165/94, (EG) Nr. 2799/98, (EG) Nr. 814/2000, (EG) Nr. 1290/2005 und (EG) Nr. 485/2008 des Rates (2013), zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0549:0607:DE:PDF>> [zitiert am 2.9.2019]
- VO (EU) Nr. 1307/2013: Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 17. Dezember 2013 mit Vorschriften über Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 637/2008 des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates (2013), zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0608:0670:de:PDF>> [zitiert am 7.1.2025]
- Vos C, Don A, Hobbey EU, Prietz R, Heidkamp A, Freibauer A (2019) Factors controlling the variation in organic carbon stocks in agricultural soils of Germany. *European Journal of Soil Science* 70:550-564. doi: 10.1111/ejss.12787
- Watson CA, Reckling M, Preissel S, Bachinger J, Bergkvist G, Kuhlman T, Lindström K, Nemecek T, Topp CF, Vanhatalo A, Zander P, Murphy-Bokern D, Stoddard FL (2017) Chapter Four - Grain Legume Production and Use in European Agricultural Systems. In: Sparks DL (ed) *Advances in Agronomy* 144. Academic Press: pp 235-303, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211317300202>>
- WBAE [Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz] (2018) Für eine gemeinwohlorientierte Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2020: Grundsatzfragen und Empfehlungen: Stellungnahme, zu finden in <<https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/GAP-GrundsatzfragenEmpfehlungen.pdf?blob=publicationFile&v=3>> [zitiert am 2.9.2019]
- Wessolek G, Kaupenjohann M, Dominik P, Ilg K, Schmitt A, Zeitz J, Gahre F, Schulz E, Ellerbrock R, Utermann J, Düwel O, Siebner C (2008) Ermittlung von Optimal- gehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17 (2) Nr. 7 BBodSchG: Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 202 71 264. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. - Bodenschutz -UFOPLAN 202 71 264, hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Publikationen des Umweltbundesamts, zu finden in <<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3707.pdf>> [zitiert am 27.6.2025]
- Westphal H (2009) Wirkungen und Kosten von Maßnahmen zur Verringerung von Bodenerosion und Stoffaustrag in Gewässer. Untersuchungen im Leineezugsgebiet bei Gronau (Niedersachsen). Hannover, zu finden in <<https://edocs.tib.eu/files/e01dh09/606419365.pdf>> [zitiert am 12.5.2025]
- WIBank [Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen], Regierungspräsidium Darmstadt (RP Darmstadt), Dezernat V52 Forsten (o.J.) Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) zur Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen - Zuschuss Gewährung: Das Programm fördert forstwirtschaftliche Vorhaben im Privat- und Kommunalwald, zu finden in <https://verwaltungsportal.hessen.de/leistung?leistung_id=L100001_383202916> [zitiert am 17.7.2025]

- Wiesmeier M, Mayer S, Paul C, Helming K, Don A, Franko U, Steffens M, Kögel-Knaber I (2020) CO₂-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen, hg. v. BonaRes-Zentrum für Bodenforschung. BonaRes Series, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/340006637_CO2-Zertifikate_fur_die_Festlegung_atmospharischen_Kohlenstoffs_in_Boden_Methoden_Massnahmen_und_Grenzen> [zitiert am 8.11.2022]
- Wilpert Kv, Hartmann P, Puhmann H, Gaertig T, Schäfer J, Thren M (2020) Stabilisierungswirkung von Bodenschutzkalkungen im Klimawandel. AFZ Der Wald (11):72-75
- Winterling A, Ostermayr A, Urbatzka DP (2019) Einfluss legumer Zwischenfrüchte auf Körnerleguminosen bezüglich Fruchtfolgekrankheiten: Naturland Ackerbautagung. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), zu finden in <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/schwerpunkte/dateien/vortrag_einfluss_legumer_zwischenfr%C3%BCchte_auf_erbsen_hinsichtlich_fruchtfolgekrankheiten.pdf> [zitiert am 10.5.2023]
- Wischmeier WH, Smith DD (1978) Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning, 58 + Anhänge. Agriculture Handbook
- Wüstemann F, Schroeder LA, Witte Td, Don A, Heidecke C (2023) Steckbriefe zu humuserhaltenden und -mehrenden Maßnahmen auf Ackerflächen: Projektbericht des Thünen-Instituts im HumusKlimaNetz. Thünen Working Paper 231. Braunschweig. Thünen Working Paper 231, zu finden in <https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_231.pdf> [zitiert am 7.2.2024]

Anhang

Tabelle A1: Übersicht der Humusgruppen und der zugeordneten Nutzcodes (Klassen Humusmehrter 1 bis Humuszehrer 3)

Humusgruppe und zugeordnete Nutzcodes	
HM1	<p>Erbsen (Erbse, Markerbse, Schalerbse, Zuckererbse)</p> <p>Gemüseerbsen</p> <p>Ackerbohne/Puffbohne/Pferdebohne/Dicke Bohne</p> <p>Wicken (Pannonische, Zottelwicke, Saatwicke)</p> <p>Lupinen (Süßlupine, weiße Lupine, blaue/schmalblättrige Lupine, gelbe Lupine, Anden-Lupine)</p> <p>Erbsen/Bohnen</p> <p>Gemenge Leguminosen / Getreide</p> <p>Linsen</p> <p>Sojabohnen</p> <p>Kichererbsen</p> <p>Hülsenfrucht einer Gattung/Art, die in der aktuellen Liste nicht aufgeführt ist</p> <p>Platterbse</p> <p>Gemüserübsen (Stoppelrübe, Weiße Rübe, Bayerische Rübe, Mairübe, Chinakohl, Pak-Choi, Teltower Rübchen, Stielmus, Herbstrübe)</p>
HM2	<p>HALM – Mehrjährige/r Blühfläche/Blühstreifen</p> <p>Klee (stickstoffbindende Pflanze)</p> <p>Kleegras</p> <p>Luzerne</p> <p>Ackergras</p> <p>Klee-Luzerne-Gemisch</p> <p>Bockshornklee, Schabziegerklee</p> <p>Hornklee, Hornschotenklee</p> <p>Esparsette</p> <p>Serradella</p> <p>Steinklee</p> <p>Kleemischung aus NC 421, 427, 431 (stickstoffbindend)</p> <p>Luzerne-Gras</p> <p>Honigpflanzen genutzte brachliegende Flächen (pollen- und nektarreiche Arten) – einjährig</p> <p>Honigpflanzen genutzte brachliegende Flächen (pollen- und nektarreiche Arten) – mehrjährig</p> <p>Honigpflanzen genutzte brachliegende Flächen (pollen- und nektarreiche Arten) -einjährig</p> <p>Honigpflanzen genutzte brachliegende Flächen (pollen- und nektarreiche Arten) -mehrjährig</p> <p>Grassamenvermehrung</p> <p>Samenvermehrung für Klee gem. Saatgutverkehrsgesetz oder Erhaltungsmischungsverordnung</p> <p>Pufferstreifen ÖVF AL</p>
HM4	<p>Streifen am Waldrand (ohne Produktion) ÖVF1</p> <p>Feldrand ÖVF</p> <p>HALM – Einjährige/r Blühfläche/Blühstreifen</p> <p>HALM – Gewässer-/Erosionsschutzstreifen</p> <p>Brache mit jährlicher Einsaat von Blümmischungen</p> <p>Grünbrache im ökologischen Landbau (Hauptfutterfläche)</p>
HZ1	<p>Futterrübe/Runkelrübe</p> <p>Zuckerrüben</p> <p>Anderer Gemüsearten (einschl. Zucker-, Futter-/Runkelrüben)</p> <p>Kohlrübe, Steckrübe</p>
HZ2	<p>Stärkekartoffeln</p> <p>Kartoffeln</p> <p>Süßkartoffeln</p> <p>Gemüse</p> <p>Gemüsekohl (Kopfkohl, Wirsing, Rot-/Weißkohl, Spitzkohl, Grünkohl, Kohlrabi, Markstammkohl, Blumenkohl, Romanesco, Brokkoli, Rosenkohl, Zierkohl)</p> <p>Tomaten</p> <p>Gemüse-Kürbisgewächse</p> <p>Gurke (Salatgurke, Einlegegurke)</p> <p>Zuckermelone</p> <p>Riesenkürbis (Riesenkürbis, Hokkaidokürbis)</p> <p>Gartenkürbis (Gartenkürbis, Steirischer Kürbis, Zucchini, Spaghettikürbis, Zierkürbis)</p> <p>Melone (Wassermelone)</p> <p>Sellerie (Knollen-Sellerie, Bleich-Sellerie, Stangen-Sellerie)</p> <p>Gemüserübsen (Stoppelrübe, Weiße Rübe, Bayerische Rübe, Mairübe, Chinakohl, Pak-Choi, Teltower Rübchen, Stielmus, Herbstrübe)</p>
HZ3	<p>Mais</p> <p>Silomais (als Hauptfutter)</p> <p>Gemüse-Kreuzblütler</p> <p>Steckrübe, Kohlrübe (Gemüsebau)</p> <p>Gemüse-Nachtschattengewächse</p> <p>Paprika, Chilli, Peperoni</p> <p>Möhre (Möhre/Karotte, Futtermöhre)</p> <p>Pastinaken</p> <p>Zichorien/Wegwarten (Chicoree, Radiccio, krausblättrige Endivie, ganzblättrige Endivie, Zichorie)</p> <p>Ringelblumen (Garten-Ringelblume)</p> <p>Kamillen (Echte Kamille)</p> <p>Malven (Wilde Malve)</p> <p>Virginiamalve</p> <p>Sonnenhut (Schmalblättriger Sonnenhut, Purpur-Sonnenhut)</p>

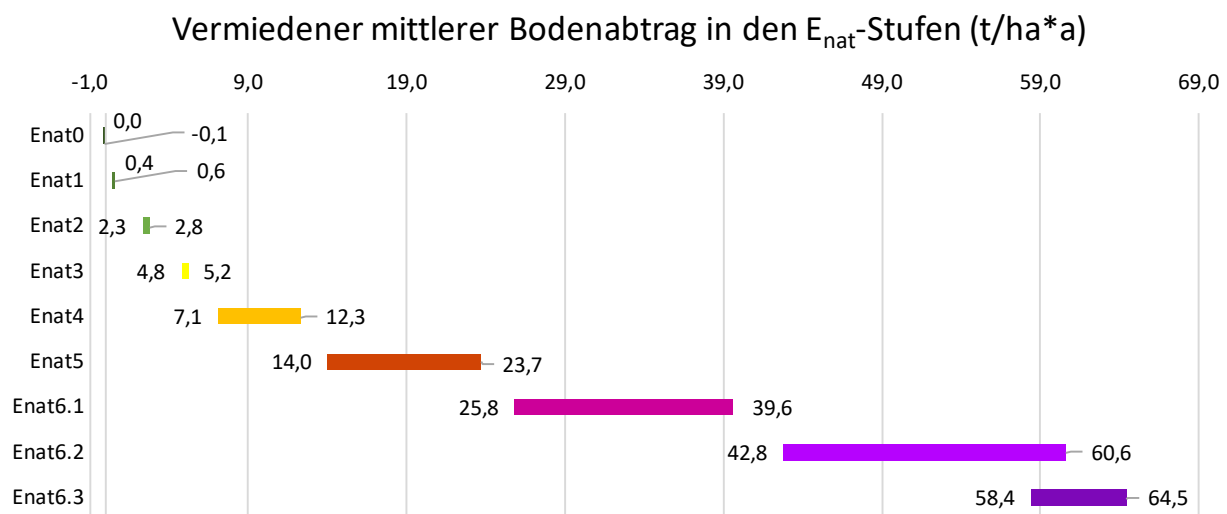
Quelle: Eigene Tabelle, nach VDLUFA (VDLUFA, 2014).

Tabelle A2: Übersicht der Humusgruppen und der zugeordneten Nutzcodes, Klasse Humuszehrer 4

Humusgruppe H24 und zugeordnete Nutzcodes		
Winterhartweizen/Durum	Gartenrettiche (Weiße/rote Rettiche, schwarzer Winterrettich, Ölrettich, Radieschen)	Pfingstrosen/Päonien (Gemeine Pfingstrose, Strauch-Pfingstrose)
Sommerhartweizen/Durum	Weißer Senf, Gelber Senf	Wiesenkнопf (Kleiner Wiesenkнопf, Pimpinelle)
Winterdinkel	Lauch (Speise-Zwiebel, Schalotte, Lauch, Knoblauch, Schnittlauch, Winterheckenzwiebel, Bärlauch)	Portulak
Winterweichweizen	Gartenbohne (Gartenbohne/Buschbohne/Stangenbohne, Feuerbohne/Prunkbohne)	Nelken (Bartnelke, Land-/Edelnelke)
Sommerweichweizen	Feldsalat/Ackersalat/ Rapunzel	Kornblumen
Winteremmer/-einkorn	Lattich (Garten-Salat/Lattich, Lollo Rosso, Romana-Salat/Römischer Salat)	Phacelia (als Hauptkultur z.B. Saatgutvermehrung)
Sommeremmer/-einkorn	Spinat	Glockenblumen (Campanula)
Sommerdinkel	Mangold, Rote Beete/Rote Rübe	Fetthenne, Mauerpfeffer
Winterroggen	Fenchel (Gemüsefenchel, Körnerfenchel)	Ramtillkraut
Sommerroggen	Küchenkräuter/Heil- und Gewürzpflanzen	Hopfen
Wintermenggetreide	Dill, Gurkenkraut	Getreide einer Gattung/Art, die in der aktuellen Liste nicht aufgeführt ist
Wintergerste	Anis	Ölfrucht einer Gattung/Art, die in der aktuellen Liste nicht aufgeführt ist1
Sommergerste	Kümmel	Borretsch
Winterhafer	Schwarzkümmel (Echter Schwarzkümmel, Jungfer im Grünen)	Enzian
Sommerhafer	Koriander	Frauenmantel
Sommermenggetreide	Liebstöckel/Maggikraut	Engelwurz (Arznei-Engelwurz, Echter Engelwurz)
Sommermenggetreide ohne Weizen	Petersilie	Einjähriges Silberblatt
Wintertriticale	Salbei (Küchen-/Heilsalbei, Buntschopf-Salbei)	Narzissen / Osterglocken
Sommertriticale	Oregano (Echter Majoran, Oregano/Dost/Wilder Majoran)	Hyazinthe (Garten-Hyazinthe)
Rispenhirse, Rutenhirse	Lavendel (Echter Lavendel, Speik-Lavendel, Hybrid-Lavendel)	Milchstern
Buchweizen	Thymian	Astern (Sommeraster)
Mohren-/Zuckerhirse	Melisse (Zitronenmelisse)	Strohblumen
Kolbenhirse	Minzen (Pfefferminze, Grüne Minze)	Strandflieder (Geflügelter Strandflieder)
Amarant, Fuchsschwanz	Wermut, Estragon, Beifuß	Zinnien
Quinoa	Wegerich (Spitzwegerich)	Anemonen (Herbstanemone, Japanische Anemone)
Reis im Trockenanbau	Schafgarben (Gelbe Schafgarbe)	Silberbrandschopf
Winterraps	Baldrian (Echter Baldrian)	Kreuzkümmel
Sommerraps	Echtes Johanniskraut/Hyperikum	Basilikum
Winterrüben (Rübsen, Rübsamen, Rübsaat)	Mariendistel	Borretsch
Sommerrüben (Rübsen, Rübsamen, Rübsaat)	echte Arnika (Arnica montana)	Frauenmantel
Sonnenblumen	Hanf (THC-arme Sorten)	Engelwurz (Arznei-Engelwurz, Echter Engelwurz)
Lein (Gemeiner Lein, Flachs)	Erdbeeren (Freiland)	Virginischer Tabak
Leindotter	Brennnesseln (Große Brennnessel)	Einjähriges Silberblatt
Goldrute (Solidago)	Zierpflanzen	Hyazinthe (Garten-Hyazinthe)
Streptocarpus/Drehfrucht	Garten-/Sommerlevkoeje	Milchstern
Iberischer Drachenkopf	Margheriten	Astern (Sommeraster)
Garten-Petunie	Tagetes/Studentenblume	Strohblumen
Köcherblümchen	Gladiolen	Strandflieder (Geflügelter Strandflieder)
Topinambur	Tulpen	Trauben-Silberkerze
Schwarzer Senf	Dahlien	Nachtkerzen (Oenothera)
Brauner Senf/Sareptasenf	Rosenwurz	Kapuzinerkresse
Garten-Senfauke, Rucola	Löwenmäulchen (Großes Löwenmaul)	Fuchsen
Gartenkresse	Königskerzen (Großblütige Königskerze)	Anemonen (Herbstanemone, Japanische Anemone)

Quelle: Eigene Tabelle, nach VDLUFA (2014).

Abbildung A3: Vermiedener mittlerer Bodenabtrag auf Ackerflächen des Ökologischen Landbaus aufgeteilt nach E_{nat}-Stufen



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des HLNUG (2021) und InVeKoS-Daten (2021).