

Beitrag des Programms zum Bodenschutz

NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022

Julia Scholz

5-Länder-Evaluation 19/2025

Finanziell unterstützt durch:



EUROPÄISCHE UNION

**Ministerium für Landwirtschaft
und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



DOI-Nr.: 10.3220/253-2025-245

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, Dezember 2025

entera
Umweltplanung & IT

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Kartenverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	VI
Glossar	VII
0 Zusammenfassung und Summary	1
1 Einleitung	3
1.1 Bewertungsauftrag	3
1.2 Aufbau des Berichts	5
2 Relevanz der Förderung	6
2.1 Aktualisierte Ausgangslage und Handlungsbedarf	6
2.1.1 Erosionsgefährdung	6
2.1.2 Kohlenstoffspeicherung im Boden	10
2.1.3 Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald	12
2.2 Eignung der ELER-VO zur Problemlösung	14
2.3 Kontext der Förderung	16
3 Relevante Maßnahmen und Umsetzung	18
3.1 Zielsetzungen	18
3.2 Geplante Outputs der Maßnahmen	19
3.3 Geförderte Maßnahmen und deren Interventionslogik	19
3.3.1 Geförderte Maßnahmen	19
3.3.2 Wirkungspfade der geförderten Maßnahmen	23
3.4 Darstellung des Outputs der Maßnahmen	27
4 Daten und Methoden	31
4.1 Untersuchungsdesign	31
4.2 Daten	33
4.3 Wirkungsanalyse und Bewertung	34
4.3.1 Mitnahmen, Wirkungsdauer und Bewertungsmaßstäbe für Bewertungskriterien	34
4.3.2 Methodik Wassererosionsschutz	37
4.3.3 Methodik Winderosionsschutz	39
4.3.4 Methodik Kohlenstoffspeicherung im Boden	40
5 Wirkungen und Wirksamkeit	41
5.1 Wirkpotenzial Erosionsschutz	42
5.1.1 Wassererosionsschutz	42
5.1.2 Winderosionsschutz	43
5.2 Wirkpotenzial Kohlenstoffspeicherung im Boden	43
5.3 Wirkpotenzial Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald	44
5.4 Wirkungen der Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzz Zielen	44
5.4.1 Flächenmaßnahmen	44

5.4.2	Nichtflächenmaßnahmen	69
5.5	Wirkungen der Maßnahmen ohne programmierte Bodenschutzziele	76
5.5.1	Flurbereinigung	76
5.5.2	Investiver Naturschutz	78
5.6	Kohärenz und Synergie	79
5.7	Gesamtbetrachtung der bodenschutzrelevanten Maßnahmen	80
6	Kosten-Wirksamkeit (Effizienz)	86
6.1	Implementations- und Gesamtkosten	86
6.2	Vermiedener Bodenabtrag durch Wassererosion	88
6.3	Kohlenstoffspeicherung im Boden	89
7	Beitrag zur Beantwortung der Bewertungsfragen	90
7.1	Zusammenfassende Bewertung des Programms zum Bodenschutz	90
7.2	Zusammenfassende Bewertung aus Bodenschutzsicht zum Beitrag des Programms zur nachhaltigen Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen	91
8	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	93
	Literaturverzeichnis	97
	Anhang	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	ELER-spezifische Bewertungsanforderungen des CMEF für den Zielbereich Bodenschutz.....	4
Abbildung 2:	THG-Emissionen der Ackerflächen in NRW im Zeitverlauf	11
Abbildung 3:	Waldflächenanteil nach Baumartengruppen nach LWI 2012-2014 in NRW.....	13
Abbildung 4:	Untersuchungsdesign zur Analyse der Bodenschutzwirkung und Beurteilung der Wirksamkeit	31
Abbildung 5:	Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2015 und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne VK-Förderung.....	56
Abbildung 6:	Vielfältige Kulturen – Veränderung der Anbauanteile der teilnehmenden und nicht teilnehmenden Ökobetriebe und konventionellen Betrieben von 2016 zu 2020	57
Abbildung 7:	Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2015 (vor und nach Einstieg in die VK- Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie ÖKO- und VK- Teilnahme	59
Abbildung 8:	DiD-Vergleich, vereinfachte Humusbilanzen der Betriebe nach Bewirtschaftungsart für die Jahre 2015 und 2022 mit und ohne ÖKO-Förderung	66
Abbildung 9:	Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2015 (vor Einstieg der Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne ÖKO	67

Kartenverzeichnis

Karte 1:	Karte der CC-Wassererosionsgefährdungskulisse in NRW.....	7
Karte 2:	Karte der CC-Winderosionsgefährdungskulisse in NRW.....	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einschätzung des Handlungsbedarfs zum Erosionsschutz	8
Tabelle 2:	Einstufung der landwirtschaftlichen Fläche nach dem Grad der Wasser- und Winderosionsgefährung.....	9
Tabelle 3:	Kontextindikator C.41 Soil organic matter in arable land in Deutschland	11
Tabelle 4:	Einschätzung des Handlungsbedarfs.....	12
Tabelle 5:	Einschätzung des Handlungsbedarfs zur Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe.....	14
Tabelle 6:	Eignung der ELER-VO zur Lösung der Problemlagen und ihre Implementation im EPLR.....	16
Tabelle 7:	Bedeutung des EPLR im Verhältnis zum Kontext	17
Tabelle 8:	Maßnahmen mit Bodenschutzz Zielen	18
Tabelle 9:	Maßnahmen ohne Bodenschutzziele.....	18
Tabelle 10:	Geplante Ziele und Mittel der Maßnahmen mit und ohne programmiertes Bodenschutzziel	19
Tabelle 11:	Zuordnung der Maßnahmen mit programmierten SPB 4C-Zielen zu Wirkungspfaden und damit verbundenen Wirkungsfaktoren.....	24
Tabelle 12:	Zuordnung der weiteren relevanten Maßnahmen zu Wirkungspfaden und damit verbundenen Wirkungsfaktoren	26
Tabelle 13:	Output und Finanzen der Maßnahmen mit Bodenschutzziel	28
Tabelle 14:	Output und Finanzen der Maßnahmen ohne programmiertes Bodenschutzziel	30
Tabelle 15:	Zuordnung der Indikatoren und Messgrößen zu den Bewertungskriterien	33
Tabelle 16:	Mitnahmen nach Kategorien	35
Tabelle 17:	Bewertungsskala für quantifizierbare Maßnahmenwirkungen	37
Tabelle 18:	Wassererosionsgefährdungsstufen und deren potenzieller Bodenabtrag	38
Tabelle 19:	Räumliche Lage der BLÜ-Förderflächen.....	46
Tabelle 20:	Räumliche Lage der Uferrand- und Erosionsschutzstreifen.....	47
Tabelle 21:	Geförderte Ackerfläche der Maßnahmen nach Erosionsgefährdungsgrad	50
Tabelle 22:	Potenziell vermiedener Bodenabtrag durch die Maßnahmen mit SPB 4C-Ziel	50
Tabelle 23:	Einordnung der geförderten Ackerfläche der Maßnahmen mit prioritärem SPB 4C-Ziel in die Winderosionskulisse	53
Tabelle 24:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2015 und 2022, Unterscheidung für Betriebe mit und ohne VK-Förderung.....	55
Tabelle 25:	Teilnehmende (ÖKO und konventionell) an Vielfältige Kulturen im Jahr 2020 – Charakterisierung anhand von Betriebskennziffern	57

Tabelle 26:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2015 und 2022, Unterscheidung mit und ohne Förderung von VK und ÖKO	58
Tabelle 27:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2015 und 2022, Unterscheidung konventionell und ÖKO	65
Tabelle 28:	Humusreproduktionswerte der Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzziel.....	68
Tabelle 29:	IST und SOLL der gesamten M8.5 (2015 bis 2022).....	70
Tabelle 30:	Merkmale der ausgewählten bodenschutzrelevanten EIP-Agri Vorhaben.....	74
Tabelle 31:	Zusammenfassung der Maßnahmen mit programmiertem Bodenschutzziel	81
Tabelle 32:	Zusammenfassung der Maßnahmen ohne programmiertes Bodenschutzziel	82
Tabelle 33:	Übersicht der Programmwirkung auf den bodenschutzrelevanten Ergebnisindikator	84
Tabelle 34:	Übersicht der Programmwirkung auf die bodenschutzrelevanten Wirkungsindikatoren.....	85
Tabelle 35:	Implementations- und Gesamtkosten der Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel.....	87
Tabelle 36:	Prämien der Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel	88
Tabelle 37:	Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Vermeidung von Wassererosion	89
Tabelle 38:	Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Kohlenstoffspeicherung im Boden	90
Tabelle A1:	Übersicht der Humusgruppen und der zugeordneten Nutzcodes (Klassen Humusmehrer 1 bis Humuszehrer 3).....	116
Tabelle A2:	Übersicht der Humusgruppen und der zugeordneten Nutzcodes, Klasse Humuszehrer 4	117

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
AL	Ackerland
Äq.	Äquivalente
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen
CC	Cross Compliance
CMEF	Common Monitoring and Evaluation Framework
C _{org}	Organischer Kohlenstoff
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	Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum
ERO	Erosionsschutzstreifen
EU	Europäische Union
EURI	Mittel des Aufbauinstrumentes NextGenerationEU zur Abmilderung der Corona-Folgen
EXG	Extensive Grünlandnutzung
FP	Förderperiode
GAEC	standards on good agricultural and environmental condition of land
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
gfP	Gute fachliche Praxis
GLÖZ	Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand
ha	Hektar
Häq	Humusäquivalente
IK	Implementationskosten
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsysteem
JRC	Joint Research Centre
LEADER	Liaison Entre Actions de Développement de l'Économie Rurale
LULUCF	Land use, land-use change and forestry
Max	Maximum
Min	Minimum
Mio.	Million
Mt	Megatonne
Natura 2000	EU-Schutzgebietssystem, bestehend aus Fauna-Flora-Habitat-Gebieten (FFH) und Vogelschutzgebieten (VS), die durch Naturschutzgebiete (NSG) als Trittsteinbiotope/Kohärenzgebiete ergänzt werden

Abkürzung	Bedeutung
NRR	Nationale Rahmenregelung
NRW	Nordrhein-Westfalen
OB	Oberboden
OG	Operationelle Gruppen
ÖKO	Ökolandbau
ÖVF	Ökologische Vorrangflächen
PSM	Pflanzenschutzmittel
RDP	Rural Development Programme
RL	Richtlinie
SOC	soil organic carbon
SPB	Schwerpunktbereich
t	Tonnen
THG	Treibhausgas(e)
UB	Unterboden
UFE	Uferrandstreifen
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VNS	Vertragsnaturschutz
VK	Vielfältige Kulturen im Ackerbau
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
ZWF	Zwischenfrüchte /Anbau von Zwischenfrüchten

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>effectiveness</i>)	Die Wirksamkeit setzt die erreichte Wirkung in das 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/ha 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 NRW-Programms ländlicher Raum 2014 bis 2022 auf den Bodenschutz thematisiert. Untersucht werden dabei zum einen die Wirkung der mit Bodenschutzziehen (Schwerpunktbereich Bodenschutz 4C) programmierten Maßnahmen zur Verhinderung der Bodenerosion (Wasser und Wind) sowie Beiträge zur Kohlenstoffspeicherung im Boden. Zum anderen geht es um die Wirkung weiterer Maßnahmen, die kein explizites Bodenschutzziel verfolgten, aber Wirkungen hatten. Für die Analyse der Ressourcenschutzwirkungen wurden für die Flächenmaßnahmen die Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsysteams genutzt. Für die investiven Maßnahmen konnte auf Förderdaten und die Ergebnisse der maßnahmenbezogenen Evaluierungsberichte zurückgegriffen werden. Darüber hinaus wurde ein systematischer Literaturreview vorgenommen. Methodisch wurden Wirkungspfadanalysen, Kalkulationen zur Allgemeinen Bodenabtragsgleichung sowie Mit-Ohne-/Vorher-Nachher-Vergleiche durchgeführt. Relevant sind insgesamt konkrete maßnahmenbezogene Bewertungskriterien, welche den Wirkungspfaden Bodenerosionsschutz (Wasser und Wind), Beitrag zur Speicherung von Kohlenstoff im Boden sowie die Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald zugeordnet sind.

Im Hinblick auf das Ziel einer Senkung des Bodenabtrags durch **Wassererosion** konnten 14,8 % der Wassererosionskulisse CC_{Wasser1} und CC_{Wasser2} bzw. E_{nat5.1} bis E_{nat5.2} durch Flächenmaßnahmen erreicht werden. Der potenzielle Bodenabtrag, welcher insgesamt durch das Programm vermieden wurde, liegt zwischen 0,35 und 0,56 Mio. t/a. In Bezug auf die Tonnen pro Hektar Förderfläche wurden in der Summe der Maßnahmen insgesamt zwischen rund 47 und 72 t/a verhindert. Im Mittel entspricht dies ca. 0,4 bis 0,7 t/ha*a. Den größten Beitrag leistete der Ökolandbau, da dieser sich zum einen durch eine hohe Bodenbedeckung und zum anderen durch große Anteile in der Wassererosionskulisse auszeichnet. In Bezug auf die **Winderosion** wurden 8,1 % der CC_{Wind}-Kulisse durch die Fördermaßnahmen erreicht. Hierbei zeichnete sich der Zwischenfruchtanbau durch einen hohen Anteil in der Kulisse aus und trug damit am stärksten zum Winderosionsschutz durch Erhöhung der Bodenbedeckung bei. Durch das Programm konnten potenziell zwischen 375.111 und 376.395 t/a **Kohlenstoff in den Boden** eingetragen werden. Dabei wurde der Großteil des organischen Kohlenstoffs durch den Ökolandbau (ca. 30 %) und die Förderung vielfältiger Kulturen im Ackerbau (ca. 29 %, Kombination mit Ökolandbau ebenfalls 30 %) erbracht. Die Ergebnisse basieren auf den vereinfachten Humusbilanzen nach der Methodik des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Im Gegensatz zur konventionellen Bewirtschaftung bzw. zur Situation ohne Förderung konnte so mehr Kohlenstoff in den Boden eingetragen, was sich in einer deutlich positiveren bzw. stärker humusmehrenden, vereinfachten Humusbilanz zeigte. Die **investiven Maßnahmen** zeigen insgesamt 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 wichtigen Kulissen (Erosionsschutz), zum anderen an den langen und z. T. indirekten Wirkungsketten der Vorhaben und Projekte. Der **Waldumbau** und die **Bodenschutzkalkung** zeigten auf einer Fläche von zusammen über 32.000 ha eine mit der Literatur belegten Wirkungspfadanalyse die langfristige positive Wirkung auf die Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald, was sich wiederum positiv auf die Bodenbewirtschaftung der Forstflächen auswirkt.

Die **Wirksamkeit** der Maßnahmen in Bezug auf den Erosionsschutz leidet unter den vergleichsweise geringen Flächenanteilen in wasser- und winderosionsgefährdeten Gebieten. Auf die Fläche bezogen gibt es im NRW-Programm zwar hoch wirksame Maßnahmen, welche allerdings eine zu geringe Reichweite erzielten. Die Wirkung der gesamten bodenschutzrelevanten Maßnahmen auf den Basistrend ist daher für den Bodenschutz und die Kohlenstoffspeicherung insgesamt als gering positiv einzustufen.

Zudem wurden Untersuchungen zur Kosten-Wirksamkeit (Effizienz) der Maßnahmen durchgeführt, deren Erkenntnisse in **Schlussfolgerungen und Empfehlungen** einfließen. Diese reichen von der Anhebung bodenschutzrelevanter GLÖZ-Standards, über das Anbieten weiterer bodenbezogener Maßnahmen und Erhöhung des ELER-Budgets für den Bodenschutz bis hin zu konkreten Maßnahmenempfehlungen. Zur Qualifizierung hinsichtlich der Bodenbewertungskriterien werden für die Maßnahmen Vielfältige Kulturen im Ackerbau, Blüh-/Schonstreifen, Uferrand- und Erosionsschutzstreifen, Vertragsnaturschutz sowie die Bodenschutzkalkung Stellschrauben zur Wirkungserhöhung aufgezeigt. Die Vorschläge beinhalten auch Empfehlungen für den Umbau des Maßnahmenangebots hinsichtlich der Lenkung auf erosionsgefährdete Flächen.

Summary

This report examines the effects of the *NRW-Programm Ländlicher Raum* 2014 to 2022 (Rural Development Programme, RDP) on soil protection. It investigates, on the one hand, the impact of measures programmed with soil protection objectives (Focus Area soil protection 4C) to prevent soil erosion (water and wind) and contribute to carbon storage in the soil. On the other hand, it also looks at the impact of other measures that did not explicitly pursue soil protection objectives but did have an impact. Data from the Integrated Administration and Control System was used to analyse the resource conservation effects of the area-based measures. For the investment measures, funding data and the results of the measure-related evaluation reports were used. In addition, a systematic literature review was carried out. Methodologically, impact pathway analyses, calculations for the general soil erosion equation and with/without/before/after comparisons were carried out. Overall, specific measure-related evaluation criteria are relevant, which are assigned to the impact pathways of soil erosion protection (water and wind), contribution to carbon storage in the soil, and increasing the naturalness and nutrient stabilisation in the forest.

With regard to the goal of reducing soil loss due to water erosion, 14.8 % of the areas at risk of water erosion ($CC_{Wasser1}$ and $CC_{Wasser2}$ or $E_{nat5.1}$ to $E_{nat5.2}$) were achieved through land measures. The potential soil loss that was avoided overall by the programme is between 0.35 and 0.56 million tonnes per annum. In terms of tonnes per hectare of subsidised area, the measures prevented a total of between around 47 and 72 t/yr. On average, this corresponds to approx. 0.4 to 0.7 t/ha*yr. Organic farming made the largest contribution, as it is characterised by high soil cover on the one hand and large proportions in the water erosion scenario on the other. In terms of **wind erosion**, 8.1 % of the areas at risk of wind erosion (CC_{Wind} scenario) was achieved through the support measures. Here, cover crops stood out with a high proportion in the scenario and thus contributed most to wind erosion protection by increasing soil cover. The programme potentially enabled between 375,111 and 376,395 tonnes of **carbon per annum to be added to the soil**. The majority of the organic carbon was provided by organic farming (approx. 30 %) and the promotion of diverse crops in arable farming (approx. 29 %, combined with organic farming also 30 %). The results are based on simplified humus balances according to the methodology of the *Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten* (Association of German Agricultural Inspection and Research Institutes). In contrast to conventional farming or the situation without subsidies, more carbon was added to the soil, which was reflected in a significantly more positive or stronger humus-increasing, simplified humus balance. Overall, the **investment measures** have a largely positive effect on the assessment criteria considered. This is due, on the one hand, to the lack of soil protection programming of the measures and the resulting failure to address impact factors such as directing land to important areas (erosion protection) and, on the other hand, to the long and sometimes indirect chains of effects of the initiatives and projects. **Waldumbau (Forest conversion)** and **Bodenschutzkalkung (soil protection liming)** showed a long-term positive effect on increasing the naturalness and nutrient stabilisation in the forest, which in turn has a positive effect on soil management in forest areas, based on an impact path analysis documented in the literature covering a total area of over 32,000 hectares.

The **effectiveness** of the measures in terms of erosion control suffers from the comparatively small proportion of land in areas at risk of water and wind erosion. In terms of area, the RDP does include highly effective

measures, but these have too limited a scope. The effect of all soil protection measures on the baseline trend can therefore be classified as slightly positive for soil protection and carbon storage overall.

In addition, studies were conducted on the cost-effectiveness (efficiency) of the measures, the findings of which are incorporated into **conclusions and recommendations**. These range from raising soil protection-related GAEC standards (standards on good agricultural and environmental condition of land), offering further soil-related measures and increasing the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) budget for soil protection to specific recommendations for action. In order to qualify for the soil assessment criteria, measures such as *Vielfältige Kulturen im Ackerbau* (diverse crops in arable farming), *Blüh- und Schonstreifen* (flowering/conservation strips), *Uferrand- und Erosionsschutzstreifen* (riparian and erosion control strips), *Vertragsnaturschutz* (contractual nature conservation) and soil protection liming are identified as levers for increasing effectiveness. The proposals also include recommendations for restructuring the range of measures with regard to targeting areas at high risk of erosion.

1 Einleitung

Die ländliche Entwicklungspolitik ist die zweite Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union (EU). Mit dem NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022 wird die ländliche Entwicklungspolitik der GAP in NRW 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. Um die Wirkung des Programms zu bewerten, 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 (MKULNV, 2017) und 2018 (MULNV, 2019b) 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 NRW-Programms Ländlicher Raum ermittelt und bewertet. Die Wirkungsevaluation 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) 1303/2013; Art. 68, VO (EU) Nr. 1305/2013). 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 eine größere Zahl an Wirkungen hätte erzielt werden können oder ob dieselben Wirkungen kostengünstiger zu erreichen gewesen wären (EU-KOM, 2021).

Spezifische Anforderungen für die Evaluation des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) sind im Common Monitoring Evaluation Framework (CMEF) festgelegt (Anhang IV und

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 waren bis 2025 möglich.

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.

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

Bewertung des EPLR in Bezug auf die Schwerpunktzbereichsziele (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	Der Bodenschutz auf Flächen mit Verwaltungsverträgen ist wiederhergestellt, geschützt und verbessert worden. (EU)	Veränderung Bestockungsverhältnisse mit dem Ziel der Stabilisierung und der Erhöhung der Naturnähe.
	Im Rahmen von EIP wurden Projekte zur Verbesserung des Bodenschutzes in der Landwirtschaft durchgeführt.	Auf gekalkter Fläche wird Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe unterstützt.
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?	
Frage 26 (EU-2020-Ziele)	In welchem Umfang hat das Programm zur Entwicklung des ländlichen Raums zur Verbesserung der Umwelt und zur Erreichung des Ziels der EU-Strategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt beigetragen, den Verlust an biologischer Vielfalt und die <u>Degradation der Ökosysteme zum Stillstand zu bringen</u> und biologische Vielfalt und Ökosystemleistungen wiederherzustellen?*	
Beurteilungskriterien	Die Teilmaßnahmen tragen zur Verbesserung der Kohlenstoffbindung/-speicherung bei.	Die Fördermaßnahme(n) trägt/tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung der 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).

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 26, der Beitrag zum Stillstand der Degradation der Ökosysteme und zur Wiederherstellung der Ökosystemleistungen, wird von der Evaluation auf das Themenfeld Biodiversität bezogen, um Redundanzen mit anderen Themenfeldern zu vermeiden (siehe Sander und Bathke (2025)).
- 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. Frage 28 wurde auf die abiotischen Ressourcen Wasser und Boden eingegrenzt. Im vorliegenden Bericht wird nur die Ressource Boden betrachtet im Hinblick auf die Verringerung der Bodenerosion (Wasser- und Winderosion) und die Stabilisierung des Humushaushalts bzw. auf den Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden. Die Wirkungen des Programms auf den qualitativen Wasserschutz (SPB 4B) werden im Bericht von Schwenger und Fynn (2025) untersucht (Bewertungsfrage 28) und in diesem Bericht nicht mehr aufgegriffen. Die Klimaschutzwirkung des Programms, z. B. durch die Kohlenstoffspeicherung im Boden, werden im Bericht von Roggendorf et al. (2026) behandelt (Bewertungsfrage 24).
- 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 Berichts

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 NRW-Programms Ländlicher Raum 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 NRW-Programms Ländlicher Raum indikatorbasiert ermittelt. Auf dieser Basis werden dessen Wirksamkeit im Hinblick auf die Bodenschutzziele bewertet und die Bewertungsfragen beantwortet (vgl. Abbildung 1). Bei der Bewertung der Wirksamkeit wird die erreichte Wirkung in das 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 (nur Bodenschutzbeitrag) werden in Kapitel 7 beantwortet. Kapitel 8 kondensiert die empirischen Befunde und endet mit Empfehlungen für die Ausgestaltung einer zukünftigen bodenschutzorientierten Förderpolitik.

Anmerkung: Entsprechend der VO (EU) Nr. 1305/2013 werden die Maßnahmen folgendermaßen unterschieden: Die oberste Ebene sind die Maßnahmen wie z. B. die Agrarumwelt- und Klimamaßnahme (M10) und der Ökolandbau (M11). Im NRW-Programm Ländlicher Raum wurde unter M10 z. B. die Teilmaßnahme 10.1 Zahlungen von AUKM angeboten, darunter zahlreiche Vorhabenarten. 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. Bei der Thematisierung konkreter Fördertatbestände wird von „Vorhabenarten“ gesprochen oder die Maßnahmenbezeichnung verwendet. Im Vertragsnaturschutz (Vorhabenarten 10.1.6 bis 10.1.8) werden wiederum verschiedene Pakete unterschieden.

2 Relevanz der Förderung

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

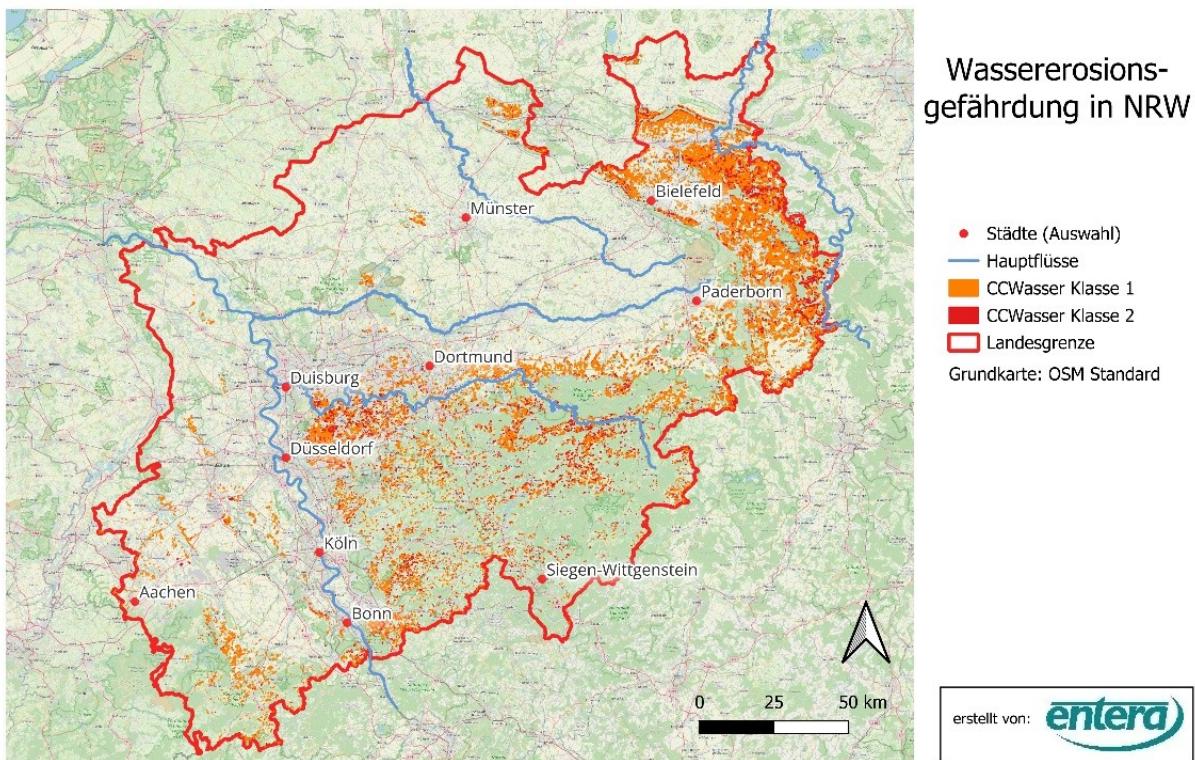
Ein weiteres wichtiges Bodenthema ist der Schutz vor Bodenverdichtung durch landwirtschaftliche Tätigkeit (gemäß der guten fachlichen Praxis, § 17 BBodSchG) und Flächenversiegelung. Dieses Thema wird durch den ELER nur randständig adressiert.

2.1 Aktualisierte Ausgangslage und Handlungsbedarf

2.1.1 Erosionsgefährdung

In Teilen des Landes NRW sind Flächen durch eine hohe Wasser- und/oder Winderosion gefährdet, wobei v. a. Wassererosion relevant ist (siehe u. a. Berens et al., 2022; LWK NRW, 2007b; LANUV, o.J., ; Röder et al., 2019). Im Fokus des Berichts steht demnach die Wassererosion. Die Verteilung der durch Wassererosion gefährdeten Bereiche zeigt Karte 1.

Karte 1: Karte der CC-Wassererosionsgefährdungskulisse in NRW



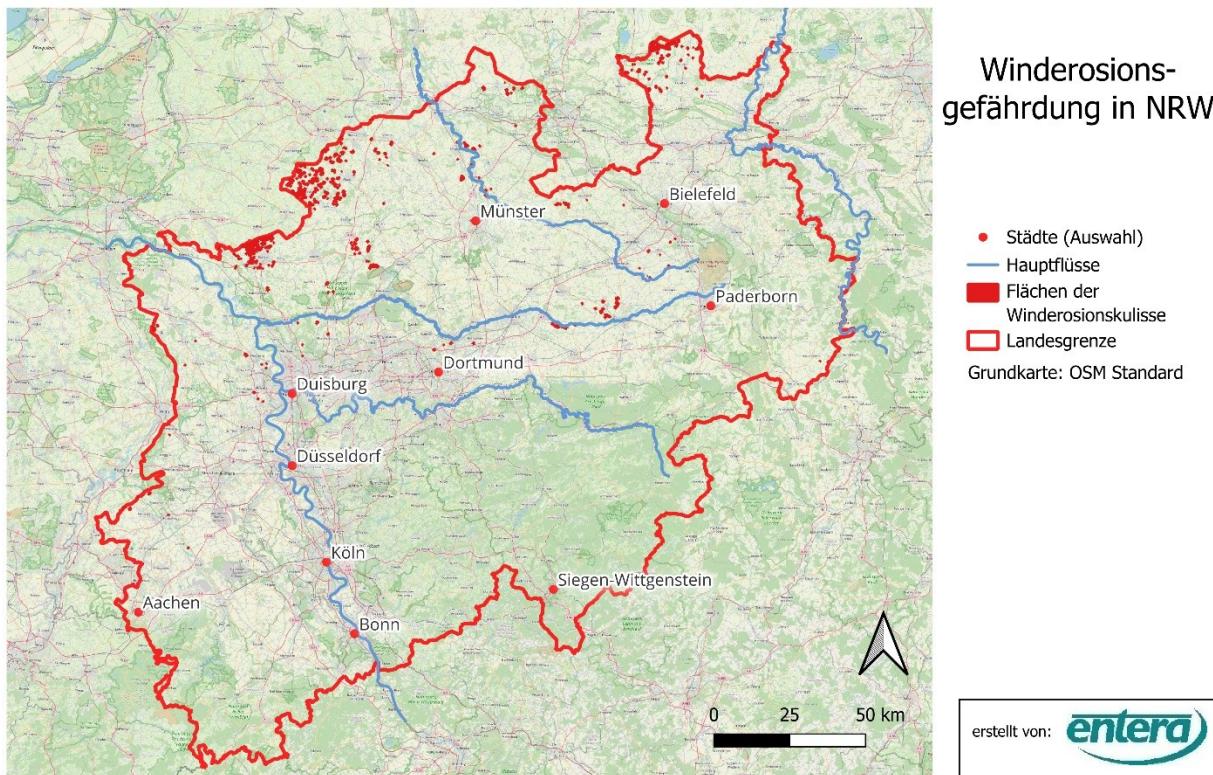
Quelle: Eigene Darstellung mit Daten wichtiger Städte und Flüsse (LANUV, 2022) sowie zur Wassererosionskulisse CC_{Wasser} (LWK NRW, 2023a). Hintergrundkarte: © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA.

In NRW sind vor allem die Gebiete mit Lössböden im Nordosten (wie die Warburger Börde) und die bergigen Regionen in einem Band entlang des Ravensberger Hügellandes über das Lipper Bergland bis hin zum Eggegebirge durch Wassererosionsgefahr betroffen. Diese Flächen zeichnen sich durch Böden mit Schluffanteilen über 70 % aus, oder es handelt sich um Sandböden mit einem hohem Feinsandanteil (Honecker et al., 2022). Weitere Gebiete mit einer hohen Gefährdung durch Wassererosion sind die Ackerflächen entlang der Nordgrenze des Bergischen Landes und des Sauerland-Rothaargebirges aufgrund der starken Hangneigungen.

Zudem ist anzumerken, dass durch Wassererosion nicht nur an den Ackerflächen an sich Schäden auftreten können (sogenannten Onsite-Schäden), sondern dass das abgetragene Material auch zu Offsite-Schäden führen kann. Dies sind Schäden, die durch das akkumulierte Material außerhalb des Ackers auftreten und Folgekosten für Reinigung und Sanierungen verursachen. Dazu zählen z. B. das Überschwemmen angrenzender Wege und Gärten/Häuser mit Bodenmaterial oder das Verlanden angrenzender Gräben und Gewässer (Honecker et al., 2022; LWK NRW, 2007b; Elhaus und Wagner, 2023).

Winderosion spielt in NRW eine geringere Rolle, große dadurch verursachte Schäden treten nur lokal begrenzt auf (LWK NRW, 2023b). Die Verteilung der Gefährdung durch Winderosion zeigt Karte 2.

Karte 2: Karte der CC-Winderosionsgefährdungskulisse in NRW



Quelle: Eigene Darstellung mit Daten wichtiger Städte und Flüsse (LANUV, 2022) sowie zur Winderosionskulisse K_{Wind} (LWK NRW, 2023b). Hintergrundkarte: © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA.

Die Winderosion kann in den Regionen auftreten, in denen der Wind auf eine unbedeckte Bodenoberfläche trifft. Besonders leichte und trockenere Sandböden mit einem hohen Anteil an Mittel- und Feinsanden und landwirtschaftlich genutzten Moorböden zeichnen sich durch eine erhöhte Gefährdung durch Winderosion aus (Honecker et al., 2022). In NRW sind nur wenige Gebiete betroffen. Sie liegen vor allem im nördlichen Bereich im Kreis Detmold und vereinzelt in den Kreisen Borken und Kleve in der Nähe der niederländischen Grenze.

Demnach ist der **Handlungsbedarf** als mittel einzustufen, da das Problem der Wassererosionsgefährdung in NRW verbreitet, die Winderosion nur auf wenige Regionen begrenzt ist (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einschätzung des Handlungsbedarfs zum Erosionsschutz

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 Kreisen).	•
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 bei 1,23 t/ha/a für das Jahr 2016 angegeben ist. Mit 1,3 t/ha/a weist NRW einen geringfügig höheren Wert auf. Diese Auswertungen beruhen allerdings auf der Annahme einer homogenen Verteilung der Ackerkulturen auf Ebene der NUTS-1-Regionen. Auf der feineren NUTS-2- und NUTS-3-Ebene sind die Differenzen deutlich größer und liegen zwischen 0,4 t/ha*a in Borken (Region Münster) im niederrheinischen Tiefland und 3,0 t/ha*a im Ennepe-Ruhr-Kreis (Region Arnsberg) im Sauerland/Bergischen Land, also einer Mittelgebirgsregion. Nach dem zweiten Unterindikator Anteil der moderaten bis hoch erosionsgefährdeten landwirtschaftlichen Fläche (Share of estimated agricultural area affected by moderate to severe water erosion >11 t/ha/a) liegt der Anteil in NRW bei 1,6 % (auf Acker und Dauerkulturen: 1,8 %, auf Grünland: 0,8 %) und damit etwas über dem bundesdeutschen Mittelwert von 1,4 %. Werden auch hier die Regionen weiter aufgeschlüsselt, liegt eine Spannweite von weniger als 0,1 % der LF bis 12,4 % der LF vor (EU-COM, 2019). 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 Erosionereignisse Berechnungen auf Grundlage der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) vorgenommen.

Für NRW wird die von Erosion gefährdete Fläche im Rahmen der Einteilung landwirtschaftlicher Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind (AgrarZahlVerpfIV) sowie DIN 19706 Wind und DIN 19708 Wasser erfasst (gem. spezifischer Landeserosionsschutz-Verordnung, LESchV 2015). Sie wird aufgeteilt nach Cross Compliance (CC, Weiteres zum Förderrecht siehe Kapitel 2.2) mit der Untergliederung für CC_{Wasser}1 und CC_{Wasser}2, CC_{Wind}0 bis CC_{Wind}5 sowie nach dem potenziellen Bodenabtrag entsprechend der natürlichen Erosionsgefährdung (E_{nat}-Stufen). Die sehr hoch von Wassererosion gefährdete Fläche (CC_{Wasser}1 und CC_{Wasser}2) lag im Jahr 2022 bei rund 162.000 ha, das sind rund elf Prozent der LF in NRW. Die Winderosionsgefährdungskulisse CC_{Wind} umfasste im gleichen Jahr ca. 4.300 ha (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Einstufung der landwirtschaftlichen Fläche nach dem Grad der Wasser- und Winderosionsgefährdung

CC-Kulisse	E _{nat} -Kulisse	Flächen in der CC-Kulisse [ha]
CC _{Wasser} 0	E _{nat} 0	156.255
	E _{nat} 1	644.366
	E _{nat} 2	494.356
	E _{nat} 3	266.104
	E _{nat} 4	390.796
CC _{Wasser} 1	E _{nat} 5.1	94.040
CC _{Wasser} 2	E _{nat} 5.2	67.697
Summe		2.113.613
CC _{Wind}	E _{nat} 5	4.294

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten der Erosionskulisse 2022 (CC_{Wasser}1 und CC_{Wasser}2, CC_{Wind}) (Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3) und 2023 (CC_{Wasser}0) (Geologischer Dienst NRW, 2023).

Zum Zeitpunkt der Programmlegung (2015) wurde neben dem geltenden Ordnungsrecht (BBodSchG, BBodSchV) das Thema Bodenerosion zuerst in der nationalen Biodiversitätsstrategie (BMU, 2007) allgemein aufgegriffen.

Sie enthält das Ziel, die Bodenerosion bis 2020 kontinuierlich zurückzuführen. In NRW wurden die Vorgaben des BBodSchG in das Landesbodenschutzgesetz überführt (LBodSchG, 2000). 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

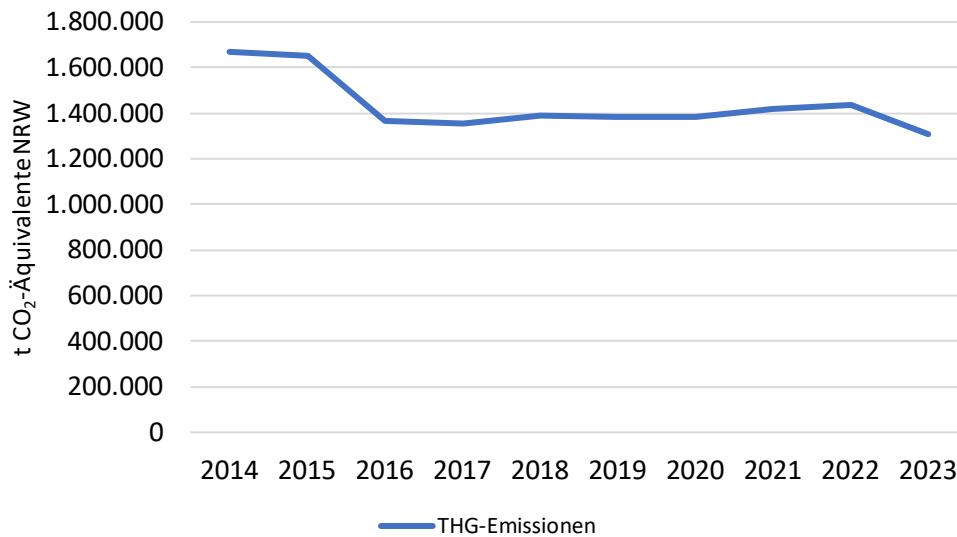
Für eine hohe Bodenfruchtbarkeit ist vor allem ein hoher Humusgehalt entscheidend. Dieser richtet sich nach der Menge und Zusammensetzung des Eintrags an organischer Substanz (auch organischem Dünger), ihrem Abbau und Stabilisierung im Boden sowie den geogenen Bodeneigenschaften und den äußeren Klimafaktoren. Durch eine Bewirtschaftung des Bodens oder das Einbringen von langfristigen Landschaftselementen wie z. B. Hecken kann der Humusgehalt stabilisiert oder sogar 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 Wasserfiltration 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 (OB) durch Erosion auch der Verlust von Humus und Pflanzennährstoffen wie Kohlenstoff verbunden (Honecker et al., 2022; Brunotte et al., 2022; Klein et al., 1999). Demnach ist auf Ackerflächen in NRW, auch vor dem Hintergrund des Klimawandels und der daraus folgenden veränderten Bodenprozesse, der standortangepasste Bodenkohlenstoffgehalt aufrechtzuerhalten und eine humusschonende Bodenbearbeitung anzustreben.

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 Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) aus dem Bereich der Landwirtschaft zu verringern, wurden gesetzlich erst nach dem Zeitpunkt der Programmlegung (2015) in der betrachteten Förderperiode verankert. Ein Beispiel ist das Bundes-Klimaschutzgesetz, welches Vorgaben zur Reduzierung der Emissionen aus der Landwirtschaft und dem „Land use, land-use change and forestry“-Sektor (LULUCF-Sektor) enthält (KSG 2019; BMU, 2016; Bundesregierung, 2023).

Ackerflächen stellen eine wichtige Größe in der nationalen Berichterstattung über die THG-Emissionen 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 NRW ist von den genannten Flächennutzungen die zweitgrößte Quelle mit rund 1,3 Mio. t CO₂-Äq. Über die umgesetzten ELER-Maßnahmen kann durch die Speicherung des Kohlenstoffs im Boden ein Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit und Humusmehrung geleistet werden (vgl. Abbildung 2).

Weitere Ausführungen zu den THG-Emissionen im LULUCF-Sektor im Zusammenhang mit Klimaschutz und zur Klimaanpassung (SPB 5D und E) sind dem Bericht von Roggendorf et al. (2025) zu entnehmen.

Abbildung 2: THG-Emissionen der Ackerflächen in NRW 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 wird im Rahmen des Monitorings für die GAP berichtet. Der Kontextindikator C.41 Soil organic matter in arable land gibt die geschätzte Menge an organischem Kohlenstoff in der landwirtschaftlichen Fläche (Ackerland, Grünland und Dauerkulturen) an (OB: 0 bis 20 cm). Differenziert werden zwei Unterindikatoren: Zum einen der mittlere Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff und zum anderen die geschätzte gesamte Menge an organisch gebundenem Kohlenstoff (EU-COM, DG AGRI, 2023). Werte lagen dafür jedoch 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. Total estimates of organic carbon content in arable land davon Ackerland	Megatonnen (Mt)	Deutschland	11.781	1.306	1.004
				416	620
2. Mean organic carbon content	g/kg	Deutschland	16,3	30,1	26,5

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

Im Jahr 2015 wurde für Deutschland ein geschätzter Gesamtwert von 1.306 Mt (Unterindikator 1) sowie ein mittlerer Gehalt von 30,1 g/kg (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 1.003,8 Mt (Unterindikator 1) und 26,5 g/kg (Unterindikator 2). Der Anteil des Ackerlandes beim Unterindikator 1 lag dort bei 620 Mt bzw. 62 % (hier wurden auch die Dauerkulturen mit eingerechnet) (EU-COM, 2020). Bis auf die Regionen Düsseldorf und Köln lag in den NUTS-2-Regionen in NRW 2018 der mittlere Vorrat an organischem Kohlenstoff im Ackerland in der Spannweite zwischen 20 und 30 g/kg. In den beiden Regionen lag der Wert bei 18,6 und 19,2 g/kg (EU-COM, 2018b). Das seit 2009 laufende Humusmonitoring auf Ackerflächen in NRW erfasst u. a. den Gehalt und die Vorräte an C_{org} sowie deren zeitlicher Veränderung in ausgewählten Ackerböden. Nach deren Angaben (197 Standorte, in fünf verschiedenen Regionen) ist der größte C_{org}-Vorrat bis 60 cm Tiefe mit über 100 t/ha in der Westfälischen Bucht vorhanden (2009 bis 2018). Diese ist sehr vom Futterbau (v. a. Getreide)

und viel organischem Düngereintrag aus Stallmist und Gülle geprägt. Im Schnitt aller Regionen liegen die C_{org}-Vorräte bei etwas über 80 t/ha in den Jahren 2009 bis 2018 im Boden bis zu 60 cm Tiefe (Bamminger, 2021).

Die Kohlenstoffgehalte in den Ackerflächen der Bodendauerbeobachtung und in Modellrechnungen zur Bodenzustandsbewertung deuten in vielen Regionen 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, welche durch den Kartoffel- und Gemüseanbau geprägt sind, u. a. in der Köln-Aachener Bucht deutlich negative Humusbilanzen verzeichnet werden (Baum et al., 2025).

Demnach gewinnt die Kohlenstoffspeicherung im Boden 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 eine 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 (Tabelle 4).

Tabelle 4: Einschätzung des Handlungsbedarfs

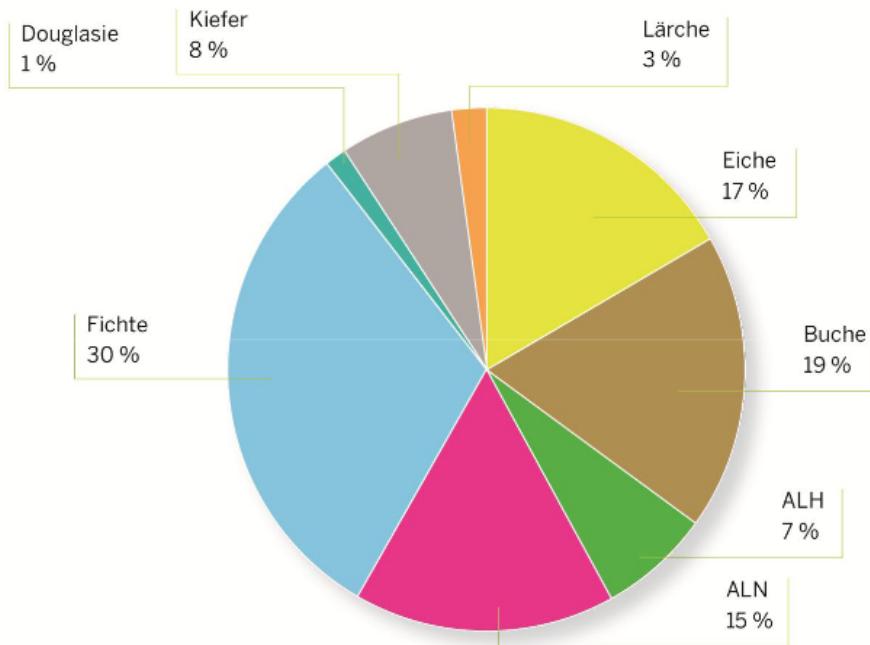
Handlungsbedarf	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Es gibt einen geringen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld, z. B. weil kein Problem vorhanden ist.	
mittel	Es gibt keinen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld. Ein Problem ist zwar vorhanden, jedoch in deutlich abgeschwächter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

Quelle: Eigene Darstellung.

2.1.3 Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald

Die Baumartenzusammensetzung wirkt sich direkt auf die Bodeneigenschaften, die Zusammensetzung der Humusauflage und die Nährstoffverfügbarkeit im Waldboden aus (WBW, 2021). Als großer Kohlenstoffspeicher (Boden, Biomasse) spielt der Wald eine bedeutende Rolle für den Klimaschutz. Der Anteil der Wälder an der Gesamtfläche in NRW liegt bei 28 % und damit unter dem Bundesdurchschnitt von 32 %. In NRW gibt es sowohl hochproduktive Laub- und Nadelholzbestände als auch Wälder auf nährstoffarmen Standorten.

Nordrhein-westfälische Wälder sind insgesamt vor allem durch Fichten, Buchen, Eichen und Kiefern geprägt. Abbildung 3 stellt die Waldanteile der verschiedenen Baumarten in NRW dar.

Abbildung 3: Waldflächenanteil nach Baumartengruppen nach LWI 2012-2014 in NRW

Quelle: MULNV (2019a). ALH: sonst. Laubbäume mit hoher Lebensdauer; ALN: sonst. Laubbäume mit niedriger Lebensdauer.

Zu erkennen ist, dass die Fichte mit 30 % die am stärksten vertretene Baumart ist. Laut dem Waldzustandsbericht für NRW hat sich die Fichte noch nicht von den vorherigen Trockenjahren erholt und ist von den Hauptbaumarten die am stärksten geschädigte (MULNV, 2021d). Die Waldartenverteilung in NRW weist in den Mittelgebirgslagen stark nadelholzgeprägte Bestände auf, die zum großen Teil aus Reinbeständen bestehen. In NRW ist also ein Bedarf vorhanden, den Umbau zu Mischwäldern hin zu unterstützen und damit die Naturnähe der Wälder zu erhöhen. Der Waldumbau, welcher seit den 1990er Jahren verstärkt betrieben wird, führt mit den etablierten Mischbeständen zu einer Verbesserung der Bodeneigenschaften (WBW, 2021).

Der Vitalitätszustand der Wälder ist direkt mit dem Zustand des Bodens und seinen Funktionen verbunden. Die Verschlechterung der Vitalitätswerte setzt sich 2023 fort, was die bereits seit dem Jahr 2018 feststellbare negative Entwicklung weiter verschärft (MLV, 2023a). Durch fehlende Überschirmung des Waldbodens sind die Flächen anfällig für Wind- und Wassererosion (Letzteres besonders bei Starkregen), was wiederum den Verlust von Feinboden und dem daran gebundenen Humus einhergeht (WBW, 2021; Honecker et al., 2022). Es zeigt sich, dass die Wälder in NRW immer stärker durch Witterungsextreme wie Hitze- und Trockenperioden und nachfolgenden Befall von Schaderregern geschädigt werden. Waldbestände mit der trockenheitsempfindlichen Fichte sind hiervon besonders betroffen.

Intensive Trockenheitsperioden können zu erheblichen Veränderungen in der Struktur und Zusammensetzung von Waldökosystemen führen und die Konkurrenzverhältnisse zwischen Baumarten beeinflussen. Gleichzeitig können ausgeprägte Trockenheitsphasen negative Auswirkungen auf die Stabilität und Speicherung von Kohlenstoff von Wäldern haben (Tresch et al., 2022). Ein entscheidender Prozess in diesem Zusammenhang ist die vermehrte Bildung von Nitrat (Überschussnitritifikation). Erhöhte Nitratausträge können abhängig vom Standort verstärkte Austräge anderer Nährstoffe verursachen. Dies stellt einen negativen Einfluss für die Bodenfruchtbarkeit dar (Eickenscheidt, 2024).

Aufgrund geringerer Nährstoffeinträge und der Bodenschutzkalkung hat sich zwar im Vergleich zu Mitte der 1980er Jahre der Grad der Versauerung reduziert und die Nährstoffversorgung im Oberboden verbessert (Eickenscheidt, 2024). Im Unterboden ist jedoch weiterhin eine zunehmende Versauerung zu beobachten. Eine Übersorgung mit Nährstoffen, vor allem Stickstoff, kann zu Nährstoffungleichgewichten führen. Die Spätfolgen der chronisch hohen Stoffeinträge stellen somit eine zusätzliche Belastung für die Waldökosysteme dar, welcher durch die Bodenschutzkalkung begegnet wird (MLV, 2023b).

Die Verbesserung des Vitalitätszustands von Wäldern kann durch Maßnahmen wie die Erhöhung des Anteils trockenheitsresistenter Baumarten im Rahmen des Waldumbaus und die weitere Reduzierung von Stickstoffemissionen unterstützt werden. Für Letzteres sind Waldkalkungen in bestimmten Gebieten mit versauerten Oberböden sinnvoll und notwendig. Aus der dargestellten Problemlage ergibt sich hoher 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 Kreisen).	
hoch	Es gibt einen vordringlichen Handlungsbedarf in diesem Wirkungsfeld.	●

Quelle: Eigene Darstellung.

2.2 Eignung der ELER-VO zur Problemlösung

Die Eignung des ELER zur Problemlösung wird für die beiden Säulen der GAP und deren Bestandteile und Wirkung für den Bodenschutz diskutiert werden.

Der Bodenschutz wird im Rahmen des EU-Förderrechts in der **ersten Säule** (Europäischer Garantiefonds für die Landwirtschaft, (EGFL)) und in der zweiten Säule mit den **CC-Regelungen** adressiert. 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 NRW ist der Anteil an landwirtschaftlichen Flächen, die von Direktzahlungen erreicht werden, mit 97 % 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 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).

Exkurs: 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 (AgrarZahlVerpfIV).

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 Dauergrünlandhalts über die Verpflichtungen des Greenings² schützt ebenfalls das Grünland (bis auf wenige Ausnahmen) vor Umbrüchen.

30 % der Direktzahlungen waren darüber hinaus an die Einhaltung zusätzlicher Auflagen des Greenings geknüpft. 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 die Zwischenfrüchte (Lakner, 2018). Am stärksten wurde im Jahr 2021 der Zwischenfruchtanbau umgesetzt (91 % der ÖVF), gefolgt von den Brachen ohne Erzeugung (4,2 % der ÖVF) (vgl. Tabelle 9 im Bericht von Reiter et al., 2024).

Bei den Flächenmaßnahmen der **zweiten Säule (ELER)** stellen die CC-Regelungen die Baseline (gem. Art. 28 VO (EU) Nr. 1305/2013) dar und bieten weitergehende Fördermöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe. Durch den ELER werden darüber hinaus investive Vorhaben, die europäischen Innovationspartnerschaften (EIP) und LEADER sowie Beratungs-/Bildungsmaßnahmen gefördert. Besonders wichtig für den Bodenschutz sind die **AUKM**. Das Ambitionsniveau der meist fünf- bis siebenjährigen AUKM liegt über dem der ersten Säule und lässt positive Effekte für den Bodenschutz erwarten, wenn sie für den Bodenschutz programmiert sind oder bodenschutzrelevante Förderbausteine enthalten. Die Höhe der AUKM-Zahlungen orientiert sich an den zusätzlichen Kosten und dem Einkommensverlust (Feindt et al., 2021). In NRW war dem SPB 4C Bodenschutz zwar kein explizites Budget zugewiesen (Röder et al., 2019), jedoch adressierte der EPLR (auch finanziell) den Bodenschutz durch zahlreiche Maßnahmen mit sekundärem Bodenschutzziel. Das 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).

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 bodenschutzbezogenen 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). Positiv zu werten ist, dass das Land eine Vielzahl an AUKM anbietet, welche die verschiedenen Umweltthemen bedienen.

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

² Greening als Baustein zur Erhaltung der Direktzahlungen gibt die Einhaltung von drei Elementen vor: Anbaudiversifizierung, Schutz von umweltsensiblem Dauergrünland und die Flächennutzung im Umweltinteresse (auch ÖVF) (VO (EU) Nr. 1307/2013 (2013)).

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

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 NRW für die Finanzierung bodenschutzrelevanter Vorhaben auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen eine geringe Bedeutung. Drei Vorhaben beziehen sich auf den landwirtschaftlichen Bereich, da zum Beispiel Uferstreifen angelegt, Grünland in Ackerland umgewandelt (Renaturierung der Lippeaue) sowie Hecken angelegt werden (Lennebogen). Dieses Ergebnis basiert auf der Sichtung von EFRE-Projektlisten, weshalb dafür gering positive Wirkungen abgeleitet werden können (Liste der Vorhaben OP EFRE NRW 2014-20, 2024). Die anderen 36 relevanten Vorhaben weisen Bezüge zum Bodenschutz allgemein auf: Bodensanierungen und Entsiegelungen von verschiedenen öffentlichen Flächen, Gehölz- und Baumpflanzungen z. T. im Rahmen von Anlage oder Erweiterung von Grünflächen (Liste der Vorhaben OP EFRE NRW 2014-20, 2024).

Der **EGFL** öffnet neue Optionen im Hinblick auf den Bodenschutz in der **Förderperiode ab 2023**, da dann **Agroforstsysteme** als Ökoregelung (Beibehaltung) förderfähig sind (GAPDZG 2021; BMEL, 2024). Die Anlage von Agroforstsystemen, welche als linienhafte Strukturen zum Schutz vor (Wind-)Erosion wirken und die zum Kohlenstoffeintrag in den Boden beitragen, ist bei der Betrachtung des Bodenschutzes wichtig (Kay et al., 2019; Duttmann et al., 2011). Agroforstsysteme weisen ähnlich wie Hecken verschiedene Ökosystemdienstleistungen auf. Mit einer Pflanzung von Baumreihen in landwirtschaftlichen Bereichen kann aus Bodenschutzsicht ein Beitrag zur Erosionsvorsorge geleistet werden, aber auch Kohlenstoff langfristig in Form von Humus im Boden gebunden werden (Unseld et al., 2011; Da Re et al., 2023). Im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen ist die Anlage von Agroforstsystemen möglich (Meyer und Klimke, 2024). In Nordrhein-Westfalen liegt im Vergleich zu anderen Bundesländern im Mittelfeld in Bezug auf die Agroforstfläche (35 ha) (DeFAF, 2023).

Auf **Bundesebene** stellt das *Wald-Klima-Paket* des BMEL mit 200 Millionen Euro im Jahr 2023 umfassende Mittel für ein klimaangepasstes Waldmanagement bereit (BMLEH, 2023). In dem entsprechenden Förderprogramm enthalten ist u. a. die Pflicht zur Einhaltung verschiedener Kriterien des klimaangepassten Waldmanagements. Diese umfassen Maßnahmen, welche sich positiv auf den Bodenschutz auswirken z. B. den Erhalt und das Einbringen standortheimischer Baumarten, den Verzicht auf Kahlschläge und auf Düngung (BMEL, 2022).

In NRW gibt es neben dem ELER zahlreiche Förderangebote für private und kommunale Waldbesitzer:innen sowie forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse. So gibt es Förderprogramme zur kurzfristigen Durchführung kleinerer Projekte. Eine vom Bund und Land finanzierte Förderrichtlinie zur Bewältigung der Extremwetterfolgen (z. B. nach dem Orkan Friederike und den darauf folgenden Dürrejahren mit intensivem Borkenkäferbefall) stellt ergänzend zum EPLR Mittel zur Verfügung (FöRI Extremwetterfolgen). Diese Richtlinie ermöglicht gezielte Maßnahmen zur Beseitigung von Waldschäden sowie zur Wiederaufforstung und dem damit einhergehenden Waldumbau. Dies geht mit positiven Wirkungen für den Bodenschutz einher, wie z. B. Bodenerosionsschutz (vgl.

Kapitel 0). Da die Richtlinie speziell auf die Wiederbewaldung betroffener Schadflächen ausgelegt ist, erfüllt sie in dieser Hinsicht die Zielsetzungen besser als das EPLR. Gleichzeitig bindet die Wiederbewaldung erhebliche personelle Ressourcen bei Waldbesitzer:innen und in der Verwaltung, wodurch Maßnahmen des EPLR außerhalb der Kalamitätsflächen nur begrenzt nachgefragt werden (MULNV, 2023). Für das Jahr 2020 standen für diese Richtlinie ca. 21 Mio. Euro zur Verfügung (MWMEV, 2020). Einige Maßnahmen werden ausschließlich vom Land NRW finanziert. Regionale Förderangebote wie die *Wiederbewaldungsprämie auf Grundlage der Förderrichtlinien Extremwetterfolgen* für 2023 bieten Waldbesitzer:innen gezielte Unterstützung bei der Wiederaufforstung: Für das Anpflanzen von mindestens 400 klimastabilen Bäumen pro Hektar können private und kommunale Waldbesitzer:innen in NRW Prämien von bis zu 800 Euro beantragen. All diese Maßnahmen sorgen für ein gutes Angebot für letztendlich mehr Überschirmungsfläche im Wald, was positive Wirkungen für den Waldboden und seine Funktionen, wie z. B. Nährstoffverfügbarkeit mit sich bringt.

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, kann aber ein Anreiz sein, dass sich Landwirt:innen stärker mit einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung und Humusversorgung auseinandersetzen (ebd.).

Die **Altlastensanierung** wird in NRW auch im Rahmen einer speziellen Bodenschutz- und Altlastenförderrichtlinie finanziell unterstützt (MKULNV, 2015c). Seit 2015 werden damit Maßnahmen zur Erfassung von altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten, Maßnahmen zur Ermittlung und Abwehr von Gefahren durch schädliche Beeinflussung u. a. des Bodens sowie weitere Maßnahmen des Bodenschutzes gefördert. Unter den zuletzt genannten Punkt gehören auch Untersuchungen zur Verbesserung der Kenntnisse über das Auftreten von Erosionsschwerpunkten (LANUK, o. J.).

Tabelle 7: Bedeutung des EPLR im Verhältnis zum Kontext

Eignung	Bedingungen	Bewertung im Programmgebiet
gering	Die Wirkungen des EPLR sind im Vergleich zu alternativen Instrumenten als gering einzuschätzen. (Die Zielerreichung/Problemlösung wird durch den EPLR kaum beeinflusst.)	
mittel	Die Wirkungen 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 Wirkungen 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 Tabelle 8 zu entnehmen. Die Waldmaßnahmen werden mit dazu genommen, da sie zum einen eine mögliche Bodenschutzwirkung aufweisen und zum anderen explizit Bodenschutzziele verfolgen (o). Diese sind auch im Feinkonzept (Bathke et al., 2023) aufgeführt. Bei LEADER und EIP wurden bei der Programmierung aufgrund der Umsetzungsverfahren Zielsetzungen in allen potenziell möglichen SPB vorgesehen. Dies ergibt sich aus dem Wettbewerbsverfahren der beiden Maßnahmen, bei dem sich erst nach erfolgter Auswahl der Lokalen Aktionsgruppen und Operationellen Gruppen der inhaltliche Schwerpunkt ergibt.

Tabelle 8: Maßnahmen mit Bodenschutzzielen

Code	Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Kurzbezeichnung	Zielsetzung SPB 4C
8.51	-	Waldumbau	-	o
8.52	-	Bodenschutzkalkung	-	o
10.1.1	VK	Viehfällige Kulturen im Ackerbau	Vielfältige Kulturen	x
10.1.2	ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	Zwischenfrüchte	x
10.1.3	BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	Blüh-/Schonstreifen	x
10.1.4	UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	Uferrand-/Erosionsschutzstreifen	x
10.1.5	EXG	Extensive Grünlandnutzung	Grünlandextensivierung	x
10.1.6	VNS-AL	Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen	Vertragsnaturschutz Acker	x
10.1.7	VNS-GL	Vertragsnaturschutz auf Grünland	Vertragsnaturschutz Grünland	x
10.1.8	Obst/Hecken	Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken	Streuobst/Hecken	x
11.1/11.2	ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau	Ökolandbau	P
16.1/2	EIP	Aufbau und Betrieb von Operationellen Gruppen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	Europäische Innovationspartnerschaften	x
19.2/19.3	LEADER	LEADER: Umsetzung von Operationen unter der der Gemeinschaft geführten lokalen Entwicklung	LEADER	x

P = prioritäres Ziel, x = sekundäres Ziel

o = ohne Ziel, mit dem Fachrat vereinbarte Untersuchung bei erwarteter Wirkung

Quelle: Eigene Darstellung entsprechend dem genehmigten Programm (MKULNV, 2015a), den Angaben der Verwaltungsbehörde, der Fachreferate sowie dem Feinkonzept (Bathke et al., 2023).

Für die Bewertung der Bodenschutzwirkung des Gesamtprogramms werden auch Maßnahmen ohne programmiertes Bodenschutzziel aber mit erwarteten Wirkungen ohne Erwähnung im Feinkonzept (Bathke et al., 2023) hinzugezogen (/) (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Maßnahmen ohne Bodenschutzziele

Code	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Kurzbezeichnung	Zielsetzung SPB 4C
4.32	Neuordnung ländl. Grundbesitzes/Flurbereinigung	Flurbereinigung	/
7.6	Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz	Investiver Naturschutz	/

/ = ohne Bodenschutzziel aber mit potenziellen positiven/negativen Wirkungen

Quelle: Eigene Darstellung.

3.2 Geplante Outputs der Maßnahmen

Zur Finanzierung der Maßnahmen mit und ohne Bodenschutzziel waren die in Tabelle 10 aufgeführten öffentlichen Mittel und materielle Outputs laut Programm Version 8.0 vorgesehen (MULNV, 2021a). Die indikativen Ziele spiegeln die Situation nach der Verlängerung der Programmplanungsperiode und Integration der EURI-Mittel wider. Insgesamt sind für die Maßnahmen ca. 877 Mio. Euro eingeplant.

Tabelle 10: Geplante Ziele und Mittel der Maßnahmen mit und ohne programmiertes Bodenschutzziel

Code	Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Kurzbezeichnung	geplanter Output Wert	Indikative Mittel [Euro]	Zielsetzung SPB 4C
mit programmiertem Bodenschutzziel						
8.51	-	Waldumbau ¹⁾	-	4.302	Vorhaben	21.649.463
8.52	-	Bodenschutzkalkung ¹⁾	-			o
10.1.1	VK	Vielfältige Kulturen im Ackerbau	Vielfältige Kulturen	170.000	ha	175.391.176
10.1.2	ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	Zwischenfrüchte	50.000	ha	16.442.920
10.1.3	BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	Blüh-/Schonstreifen	7.550	ha	54.809.742
10.1.4	UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	Uferrand-/Erosionsschutzstreifen	7.000	ha	32.885.845
10.1.5	EXG	Extensive Grünlandnutzung	Grünlandextensivierung	80.000	ha	60.290.714
10.1.6	VNS-AL	Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen	Vertragsnaturschutz Acker	4.500	ha	32.885.845
10.1.7	VNS-GL	Vertragsnaturschutz auf Grünland	Vertragsnaturschutz Grünland	31.500	ha	147.986.302
10.1.8	Obst/Hecken	Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken	Streuobst/Hecken	1.000	ha	16.442.920
11.1/11.2	ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau	Ökolandbau	77.000	ha	192.995.864
16.1/2	EIP	Aufbau und Betrieb von Operationellen Gruppen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	Europäische Innovationspartnerschaften	15	Gruppen	9.707.601
19.2/19.3	LEADER	LEADER: Umsetzung von Operationen unter der von der Gemeinschaft geführten lokalen Entwicklung	LEADER	28	Gruppen	64.902.000
Summe öffentlicher Mittel (oben)						826.390.392
ohne programmiertes Bodenschutzziel						
4.32	-	Neuordnung ländl. Grundbesitzes /Flurbereinigung	Flurbereinigung	k.A.	Vorhaben	28.124.442
7.6	-	Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz	Investiver Naturschutz	k.A.	Vorhaben	22.889.884
Summe öffentlicher Mittel (gesamt)						877.404.718

1) Angaben für den geplanten Output umfassen die gesamte Maßnahme M8.5.

Quelle: Eigene Darstellung nach Programm 8.0 (MULNV, 2021a).

Die Einführung und Beibehaltung des Ökolandbaus sowie die Vielfältigen Kulturen nehmen mit Abstand den größten Anteil der indikativen Mittel ein. Mit den Vielfältigen Kulturen soll ein Anteil von ca. 12 % von der landwirtschaftlichen Nutzfläche in NRW erreicht werden, womit sie die größte Maßnahme in Bezug auf die Fläche darstellt. Am geringsten sind die geplanten finanziellen Mittel bei den Europäischen Innovationspartnerschaften und beim Vertragsnaturschutz für Streuobstwiesen und Hecken. Zu den Flächenmaßnahmen zählen die AUKM sowie Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau. Bei der investiven Förderung ist bei der Flurbereinigung, dem Investiven Naturschutz, den Forstmaßnahmen und der Maßnahme der Zusammenarbeit Europäischen Innovationspartnerschaften herauszustellen, dass von diesen Maßnahmen oft nur ein Teil für den Bodenschutz relevant ist.

3.3 Geförderte Maßnahmen und deren Interventionslogik

3.3.1 Geförderte Maßnahmen

Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzzießen

Der **Waldumbau** (M8.51) zielt darauf ab, stabile und standortgerechte Laub- und Mischwälder zu etablieren, um die Naturnähe der Waldbestände zu erhöhen. Die Ausgangsbestände sind gemäß der Privatwaldrichtlinie überwiegend instabil, nicht standortgerecht oder von Nadelhölzern dominiert (RL Privatwald). Das Ziel des

Waldumbaus ist es, die Standortgerechtigkeit und ökologische Wertigkeit der Bestände zu steigern. Weitere Informationen zur Maßnahme sind dem Bericht von Franz (2019) zu entnehmen.

Das NRW-Programm Ländlicher Raum bietet mit der **Bodenschutzkalkung** (M8.52) eine weitere 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, 2019). Mit der Bodenschutzkalkung soll die Bodenstreu, der Boden und der Nährstoffhaushalt strukturell verbessert werden, womit zudem auch eine vergrößerte Widerstandsfähigkeit der Bestände angestrebt wird. Voraussetzung für die Förderung ist die Bestätigung der Zweckmäßigkeit und Unbedenklichkeit der geplanten Maßnahme vom Forstamt. Zudem müssen der Bewilligungsbehörde die Ergebnisse einer Bodenanalyse vorgelegt werden (MKULNV, 2015a). Weitere Informationen zur Maßnahme sind dem Bericht von Franz (2019) zu entnehmen.

Zu den Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel gehören die **Vielfältigen Kulturen im Ackerbau** (VK, M10.1.1). Mit der Umsetzung der Maßnahme wird ein breiteres Spektrum angebauter Kulturen unter Einbeziehung von Leguminosen angestrebt. Mit der Maßnahme soll die relative Vorzüglichkeit von Klee oder Klee-Gras-Gemenge gegenüber Silomais erhöht werden, was wiederum Vorzüge für die Bodenfruchtbarkeit und Minderung der Wassererosion mit sich bringen soll (MKULNV, 2015a). Ausführungen zur Gestaltung der Maßnahme, zur Akzeptanz und Inanspruchnahme sind dem Bericht von Reiter et al. (2024) zu entnehmen. 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).

Mit der Maßnahme **Anbau von Zwischenfrüchten** (ZWF, M10.1.2) wird basierend auf den Grundsätzen einer markt- und standortangepassten Landwirtschaft³ der Anbau von winterharten (wenn sie über den Winter hin beibehalten werden), leguminosenfreien Zwischenfrüchten auf mindestens 20 % des betrieblichen Ackerlandes in der Kulisse mit besonderem Handlungsbedarf zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) gefördert. Der Einstaatzzeitpunkt sowie der Zeitpunkt zum frühesten Umbruch ist vorgegeben, die Düngung ist eingeschränkt und der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) verboten (RL AUM 2015). Ausführungen zur Akzeptanz und Inanspruchnahme der Maßnahme sind dem Bericht von Reiter et al. (2024) zu entnehmen. Bodenschutzeffekte ergeben sich durch die Bodenbedeckung in den Wintermonaten (Verhinderung brachliegender, unbedeckter Böden) und die Integration humusmehrender Kulturen.

Die verschiedenen **Blüh- und Schonstreifen** bzw. -flächen (BLÜ, M10.1.3) sind in der Dimensionierung vorgegeben (Breite 6 m bis 12 m, max. 0,25 ha). Festgelegt ist auch der Einstaatzzeitpunkt (spätestens 15. Mai) sowie die Saatgutmischung. Pflanzenschutzmittel dürfen nicht ausgebracht werden. Der Umfang der angelegten Streifen muss für fünf Jahre erhalten bleiben; sie müssen jedoch nicht lagetreu sein (RL AUM 2015). Sie wirken durch die erhöhte Bodenbedeckung durch Blühmischungen, Gräser oder andere spezielle Kulturen positiv auf den Erosionsschutz (Wasser und Wind) (Honecker et al., 2022; LWK NRW, 2007a). Mehrjährige, lagetreue Blüh- und Schonstreifen tragen durch die Wurzeln und den Aufbau von unterirdischer Biomasse auch zum Kohlenstoffeintrag in den Boden bei (Harbo et al., 2022; Conant et al., 2001). Dies ist abhängig von der Kulturart (humusmehrrend, humuszehrend) und der Wurzelgröße (Paul et al., 2023; Harbo et al., 2022).

Die **Erosionsschutzstreifen** (ERO, M10.1.4) sind lagetreue Grünstreifen in wassererosionsgefährdeten Gebieten (CCWasser1, CCWasser2), welche eine Breite zwischen 5 und 30 m aufweisen. Nach der Einstaatz zum vorgegebenen max. Zeitpunkt (bis zum 01.04. des ersten Verpflichtungsjahres) ist der Aufwuchs über die Verpflichtungsdauer aufrechtzuerhalten. Eine Anwendung von PSM und Düngemitteln ist untersagt, weitere Bodenbearbeitungen (über Nachsaat hinaus) sind ausgeschlossen. Die **Uferrandstreifen** (UFE, M10.1.4) weichen nur in der Hinsicht von den Bedingungen der Erosionsschutzstreifen ab, dass sie entlang von Oberflächengewässern liegen müssen (RL AUM 2015). Ausführungen zu den Wirkungen der Erosionsschutzstreifen und z. T. auch zu den

³ Notifizierung der MSL-Fördertatbestände im Rahmen der Nationalen Rahmenregelung.

Uferrandstreifen, durch die dauerhafte Bodenbedeckung und der Beitrag zum Kohlenstoffeintrag im Boden sind auch dem Bericht von Scholz (2024) zu entnehmen. Grünstreifen können aufgrund der Begrünung der Bodenoberfläche in Fällen der Anlage quer zur Hauptwindrichtung auch zum Winderosionsschutz beitragen (Duttmann et al., 2011).

Die **Extensive Grünlandnutzung** (EXG, M10.1.5) wird aufgrund der Richtlinien zur Förderung von Agrarumweltmaßnahmen (RL AUM 2015) so gefördert, wie sie bei der EU-KOM als Nationale Rahmenregelung (NRR) notifiziert wurde. Mit der EXG sind aufgrund der Vorgabe des Umwandlungsverbots von Dauergrünland in Ackerland sowie dem Verzicht auf einen Pflegeumbruch auch Vorteile für den Bodenschutz möglich (Bodenruhe). Vorgegeben ist eine Besatzdichte (0,6 bis 1,4 Raufutter fressende Großvieheinheiten) und die jährlich einzusetzende Wirtschaftsdüngermenge. Zudem dürfen keine mineralischen Stickstoffdüngemittel sowie PSM ausgebracht werden. Die Extensive Grünlandnutzung ist eine betriebszweigbezogene Maßnahme, bei der die gesamte Dauergrünlandfläche eines Betriebes in die Maßnahme eingebracht werden muss (RL AUM 2015). Weitere Ausführungen zur Akzeptanz und Inanspruchnahme der Maßnahme sind dem Bericht von Reiter et al. (2024) zu entnehmen.

Der **Vertragsnaturschutz** in NRW teilt sich in drei Maßnahmen auf, die jeweils einen anderen inhaltlichen Schwerpunkt fördern: **Ackerflächen** (VNS-AL, M10.1.6), **Grünland** (VNS-GL, M10.1.7) sowie **Streuobstwiesen und Hecken** (Obst/Hecken, M10.1.8). Sie werden über die Rahmenrichtlinie Vertragsnaturschutz (Rahmen-RL VNS 2015) gefördert. Innerhalb der Maßnahmen werden jeweils Bewirtschaftungspakete unterschieden, die variabel zusammengesetzt werden können. Positive Wirkungen für den Bodenschutz ergeben sich aufgrund von Förderbedingungen, die eine Erhöhung der Bodenbedeckung vorgeben (Anlage von Ackerbrachen, Blüh- und Schutzstreifen oder -flächen, Untersaaten, Umwandlungen von Ackerland in Grünland, Verzicht auf Pflegeumbruch), oder das Anlegen und Pflegen von Hecken oder Gehölzen/Bäumen (Kohlenstoffeintrag in den Boden, Winderosionsschutz). Zum Vertragsnaturschutz sind weitere Ausführungen zur Akzeptanz und Inanspruchnahme dem Bericht von Reiter et al. (2024) zu entnehmen.

Bei der **Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau** (ÖKO) (M11.1/2) 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 zur Förderung des ökologischen Landbaus (RL Ökolandbau 2015) gefördert. Durch die Integration humusmehrender Leguminosen in die Fruchfolge 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 Reiter et al. (2024) zu entnehmen.

Die **Europäische Innovationspartnerschaft** (EIP-Agri, M16.1/2) 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 aus den Bereichen Gartenbau, Land- und Forstwirtschaft, Unternehmen des vor- und nachgelagerten Bereichs, Forschungseinrichtungen, Verbänden, Beratungs- und Dienstleistungseinrichtungen zusammensetzen und ein innovatives Vorhaben zur Bearbeitung eines konkreten Problems planen.

Zur Förderung standen vier thematische Schwerpunkte zur Auswahl: Tierhaltung, Ackerbau, Grünland und Dauerkulturen, Klimawandel sowie Produkt-, Prozess- und Vermarktungsinnovationen entlang der gesamten land- und forstwirtschaftlichen Wertschöpfungskette. Innovationsprozesse sollen angestoßen und Synergieeffekte erzielt werden (MKULNV, 2015a). Programmtechnisch wurde die EIP-Förderung mit prioritärem Ziel dem Schwerpunktbereich 2A (Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit) zugeordnet, da mit der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion auch die Wettbewerbsfähigkeit aller landwirtschaftlichen

Betriebe verbessert werden sollte. Aufgrund der inhaltlichen Breite der möglichen Themen ist davon auszugehen, dass die geförderten Vorhaben auch Impulse für andere Zielbereiche des EPLR, z. B. dem Bodenschutz, geben. Eine ausführliche Betrachtung der Teilmaßnahme 16.1 findet sich bei Eberhardt (2024).

Teil des EPLR mit den M19.1 bis M19.4, in diesem Bericht nur M19.2 und 19.3 relevant, ist **LEADER** (aus dem Französischen: „Verbindung zwischen Aktionen zur Entwicklung der ländlichen Wirtschaft“), mit der innovative Aktionen im ländlichen Raum gefördert und ausgewählte Regionen dabei unterstützt werden, sich mithilfe Lokaler Aktionsgruppen weiterzuentwickeln und die Lebensqualität auf dem Land zu erhalten oder zu fördern. Die Beteiligung der Menschen vor Ort bei der Planung, Auswahl und Umsetzung der Projekte folgt dem Bottom-up-Ansatz. Die durchgeführten und geförderten Maßnahmen können dabei vielfältig sein und neben den Bereichen Kultur, Infrastruktur, Integration und Bildung beispielsweise auch die Natur und Umwelt betreffen und somit potenziell einen, wenngleich eher geringen, Einfluss auf den SPB 4C Bodenschutz haben. Ein ausführlicher Bericht zur Umsetzung von LEADER und den M19.2 und 19.3 in der Förderperiode 2014-2022 findet sich bei Pollermann (2022).

Vorhaben ohne programmiertes Bodenschutzziel

Maßnahmen ohne programmiertes Ziel mit einer möglichen Wirkung liegen außerhalb der Interventionslogik des SPB 4C, können aber trotzdem positive Wirkungen auf den Boden entfalten.

Die Berücksichtigung dieser Maßnahmen erfolgte in Abhängigkeit ihres Outputs bzw. der Anzahl relevanter Projekte und potenziellen Wirkungspfaden. Es werden nur Maßnahmen in der Wirkungsanalyse berücksichtigt, die relevante Wirkungsschwellen überschritten.

Im Rahmen der investiven Maßnahme **Neuordnung ländl. Grundbesitzes/Flurbereinigung** (Flurbereinigung, M4.32) werden Flächen im ländlichen Raum nach den gesetzlichen Möglichkeiten so umgestaltet, dass die Agrarstruktur verbessert und gleichzeitig ein nachhaltiger und leistungsfähiger Naturhaushalt gesichert wird (MKULNV, 2015a).

Im Rahmen der den Flurbereinigungsvorhaben anhänglichen Verfahren zur Bodenordnung 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 Wind- und/oder Wassererosion verhindert 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 (Bathke und Tietz, 2016). Auch die Kohlenstoffspeicherung im Boden kann im Einzelfall durch verschiedene Wirkungsfaktoren bedient werden, wenn beispielsweise Hecken angepflanzt und langfristig erhalten werden (vgl. Tabelle 12). 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.

Mit der Teilmaßnahme **Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz** (Investiver Naturschutz, M7.6) werden Vorhaben zur Umsetzung von Natura 2000 und zur Verbesserung der Lebensgrundlage für gefährdete Arten gefördert. Zudem werden die Sicherung und Entwicklung von schützenswerten Biotopen unterstützt. Die Förderung wird durch die Richtlinie Investiver Naturschutz-Managementpläne weiter konkretisiert (RL Investiver Naturschutz-Managementpläne). Für den Bodenschutz relevant sind die in diesem Rahmen umgesetzten investiven Vorhaben des Naturschutzes, wie z. B. die Neuanlage von Hecken und Streuobstwiesen sowie Instandsetzungsschnitte von Kopfbäumen. Der ausführliche Bericht von Bathke (2023) stellt die Umsetzung und Wirkung der Maßnahme auch anhand von Fallbeispielen ausführlich dar.

3.3.2 Wirkungspfade der geförderten Maßnahmen

Tabelle 11 stellt die Zuordnung der Maßnahmen mit programmiertem Bodenschutzziel zu den Bewertungskriterien/Wirkungspfaden und den entsprechenden Wirkungsfaktoren als Ergebnis des Screenings (theoretische Wirkungspfadanalyse) dar.

Für die Forstmaßnahmen ist der Wirkungspfad „Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald“ wichtig. Der beinhaltet die Wirkungsfaktoren „Veränderung der Bestockungsverhältnisse, Stabilisierung und Erhöhung der Naturnähe“ und „Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe“. Die Wirkungsfaktoren „Erhöhung der Bodenbedeckung“, „Verkürzung der erosiven Hanglänge“ sowie „bodenschonende Bewirtschaftung“ sind für den Wassererosionsschutz ausschlaggebend. Für den Winderosionsschutz relevant sind, wie auch beim Wassererosionsschutz, die Wirkungsfaktoren „bodenschonende Bewirtschaftung“ und „Erhöhung der Bodendeckung“ sowie zusätzlich die „Verringerung der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche“. Bei dem Wirkungspfad Kohlenstoffspeicherung im Boden sind die letzten drei Wirkungsfaktoren „Verzicht auf Pflegeumbruch“, „Anbau humusmehrender Kulturen“ und „mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln)“ zentral. Der Wirkungsfaktor „Verzicht auf Pflegeumbruch“ beinhaltet im Umkehrschluss den Erhalt der Grasnarbe, was für den Schutz des bereits im Boden gebundenen Kohlenstoffs essenziell ist.

Tabelle 11: Zuordnung der Maßnahmen mit programmierten SPB 4C-Zielen zu Wirkungspfaden und damit verbundenen Wirkungsfaktoren

Code	Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	erwartete Wirkung	Wirkungsfaktoren								mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln)
				Veränderung Bestockungsverhältnisse, Stabilisierung und Erhöhung der Naturnähe	Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe	Verkürzung der erosiven Hanglänge	boden-schonende Bewirtschaftung	Erhöhung der Bodenbedeckung	Verringerung der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche	Verzicht auf Pflegeumbruch	Anbau humus-mehrernder Kulturen	
			Wirkungspfade	Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung		Wassererosionsschutz	Erosionsschutz		Winderosionsschutz	Kohlenstoffspeicherung im Boden		
8.51	-	Waldumbau	positiv	x								
8.52	-	Bodenschutzkalkung	positiv		x							
10.1.1	VK	Vielfältige Kulturen im Ackerbau	positiv								x	
10.1.2	ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	positiv					x			x	
10.1.3	BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	positiv		(x)		x ¹⁾	x ¹⁾	(x)	(x)	(x)	x ¹⁾
10.1.4	UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	positiv		x ²⁾		x	x	(x)	(x)	(x)	x
10.1.5	EXG	Extensive Grünlandnutzung	positiv									x
10.1.6	VNS-AL	Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen ³⁾	positiv		(x)	x	x	x	(x)			x
10.1.7	VNS-GL	Vertragsnaturschutz auf Grünland ⁴⁾	positiv							x		x
10.1.8	Obst/ Hecken	Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken ⁵⁾	positiv					x				x
11.1/11.2	ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau	positiv			x					x	
16.1/2	EIP	Aufbau und Betrieb von Operationellen Gruppen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	positiv		(x)	(x)	(x)	(x)	(x)		(x)	
19.2/19.3	LEADER	LEADER: Umsetzung von Operationen unter der von der Gemeinschaft geführten lokalen Entwicklung	positiv		(x)	(x)	(x)	(x)	(x)		(x)	(x)

(x) Wirkung nicht intendiert, im Einzelfall möglich

x Wirkung intendiert

1) Nur bei mehrjährigen, lagetreuen Blühstreifen.

2) Bei den Uferrandstreifen ist die Wirkung nur im Einzelfall möglich (x).

3) Nur die Pakete mit Bodenschutzbezug (5021, 5024, 5025, 5041, 5042, 5100) wurden bewertet.

4) Nur die Pakete mit Bodenschutzbezug (5121-5124, 5131-5144, 5151-5163) wurden bewertet.

5) Nur die Pakete mit Bodenschutzbezug (5301, 5400) wurden bewertet.

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Bewertung des Themenfelds Boden bzw. der Programmwirkung werden zudem die von der Evaluation zugeordneten Maßnahmen ohne programmiertes Ziel aber mit möglichen Wirkungen auf den Bodenschutz aufgeführt. Dazu gehören 4.32 Neuordnung ländlichen Grundbesitzes/Flurbereinigung und 7.6 Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Zuordnung der weiteren relevanten Maßnahmen zu Wirkungspfaden und damit verbundenen Wirkungsfaktoren

Code	Teilmaßnahme/Vorhabenart	erwartete Wirkung	Verkürzung der erosiven Hanglänge	Erhöhung der Bodenbedeckung	boden-schonende Bewirt-schaftung	Verringerung der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche	Anbau humus-mehrender Kulturen	mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoff-eintrag durch Wurzeln)
			Wirkungspfade	Wassererosions-schutz	Erosionsschutz	Winderosions-schutz	Kohlenstoffspeicherung im Boden	
4.32	Neuordnung ländl. Grundbesitzes/Flurbereinigung	positiv, negativ		(x)	(x)	(x)	(x)	(x)
7.6	Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz	positiv				x		x

(x) Wirkung nicht intendiert, im Einzelfall möglich

x Wirkung intendiert

Quelle: Eigene Darstellung.

Investive Maßnahmen, darunter die Neuordnung ländlichen Grundbesitzes/Flurbereinigung (4.32), die Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz (7.6) und die Maßnahme zur Zusammenarbeit Europäische Innovationspartnerschaften (M16.1/2) sowie LEADER 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 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.

3.4 Darstellung des Outputs der Maßnahmen

Dargestellt werden die physischen und finanziellen Outputs der Maßnahmen, aufgeteilt nach Maßnahmen mit programmierten und nicht programmierten Bodenschutzzieilen (vgl. Tabelle 13 und Tabelle 14). Bei den Flächenmaßnahmen wurden die physischen Outputs (InVeKoS-Daten) jeweils zum Förderhöchststand angegeben. Nur bei den beiden investiven Maßnahmen und EIP wurden die Monitoringdaten für 2023 dargestellt. Bei den Finanzdaten werden die Daten mit dem Stand 12/2024 angegeben. Um die Wirkungen der betrachteten Vorhabenarten auch vor dem Hintergrund der Zielerreichung betrachten zu können, wurden die Outputs mit den indikativen Zielen verglichen.

Tabelle 13: Output und Finanzen der Maßnahmen mit Bodenschutzziel

Kürzel/ Code	Teilmaßnahme/Vorhabenart	physischer Output				finanzierter Output				
		Indikative Zielgröße ¹⁾	Förderhöchststand ²⁾	Wert	Einheit	Wert	Einheit	Zielwert- erreichung [%]	Indikative Zielgröße [Euro]	Stand 2024 öffentliche Ausgaben [Euro]
Physische Flächen zum Förderhöchststand, Öffentliche Ausgaben zum Ende 2024										
8.51	Waldumbau		32.400 ³⁾	ha	16.986 ⁴⁾ ha		112		7.967.061	
8.52	Bodenschutzkalkung				19.381 ⁴⁾ ha				5.863.052	
VK	Vielfältige Kulturen im Ackerbau ⁵⁾	170.000	ha	198.406 ha		117	175.391.176	121.274.820	69	
ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten ⁵⁾	50.000	ha	17.890 ha		36	16.442.920	5.514.154	34	
BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen ⁶⁾	7.550	ha	6.066 ha		80	54.809.742	45.145.252	82	
UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen ⁶⁾	7.000	ha	3.788 ha		54	32.885.845	26.562.646	81	
EXG	Extensive Grünlandnutzung ⁵⁾	80.000	ha	40.185 ha		50	60.290.714	42.751.859	71	
VNS-AL	Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen davon bodenschutzrelevante Pakete ⁷⁾	4.500	ha	12.126 ha		139	32.885.845	42.829.242	130	
VNS-GL	Vertragsnaturschutz auf Grünland davon bodenschutzrelevante Pakete ⁸⁾	31.500	ha	32.411 ha		67	147.986.302	109.665.371	74	
Obst/ Hecken	Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken davon bodenschutzrelevante Pakete ⁹⁾	1.000	ha	1.347 ha		84	16.442.920	10.069.201	61	
Öko	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau ¹⁰⁾ davon geförderte Ackerflächen	77.000	ha	82.457 ha		107	192.995.864	179.634.937	93	
EIP	Aufbau und Betrieb von Operationellen Gruppen der EIP „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“	30.415	ha							
LEADER	LEADER: Umsetzung von Operationen unter der von der Gemeinschaft geführten lokalen Entwicklung	15	Gruppen	21 Gruppen		140	9.707.601	9.217.972	95	
Summe öffentliche Mittel							674.933.889			

1) Programmversion 8.0 (2021)

2) InVeKoS-Daten. Bei EIP und LEADER Monitoringdaten von 2023.

3) auf Basis der Förderdaten des Landes (Landesbetrieb WuH) 2015-2023, Zielwert aus 2020

4) auf Basis der Förderdaten des Landes (Landesbetrieb WuH) 2015-2023

5) 2020

6) 2021. Bei den Uferrand- und Erosionsschutzstreifen wurde bei der Erosionsschutzwirkung der Stand von 2020 (Abweichung 76 ha) verwendet.

7) 2022. Nur die Pakete 5021, 5024, 5025, 5041, 5042, 5100.

8) 2022. Nur die Pakete 5121-5124, 5131-5134, 5151-5163.

9) 2022. Nur die Pakete 5301, 5400.

10) 2022

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Programms 8.0 (MULNV, 2021a), öffentliche Ausgaben (2015-2024), InVeKoS-Daten (2015 bis 2022) sowie vereinzelt Monitoringdaten (2023, 2025).

Für die Maßnahmen Vielfältige Kulturen im Ackerbau und den Vertragsnaturschutz (10.1.6 bis 10.1.8) standen ab 2023 zusätzliche EURI-Mittel in der Höhe von 5,5 Mio. Euro (VK) und 14,5 Mio. Euro (VNS) zur Verfügung.

Die Förderungen Vielfältiger Kulturen, Ökolandbau, EIP und LEADER-Programm wiesen eine sehr große Zielwerterreichung bezüglich des indikativen Outputs auf. In Bezug auf die Ausschöpfung des indikativen Budgets wiesen der Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen und LEADER eine hohe Zielwerterreichung auf.

VK wurde in der gesamten Förderperiode angeboten. Im Jahr 2015 wurde als Zielgröße der Förderung 100.000 ha angegeben (MKULNV, 2015a). Durch die Bereitstellung von EURI- und Umschichtungsmitteln ab dem Jahr 2021 konnte die große Nachfrage besser bedient werden. Vor diesem Hintergrund wurde der Zielwert im Jahr 2021 auf 170.000 ha erhöht (MUNLV, 2021).

Für die Vorhabenarten mit programmiertem Bodenschutzziel wurden bis 12/2024 rund 675 Mio. Euro ausgegeben, was 47,6 % der gesamten Ausgaben (ohne Technische Hilfe, rund 1,4 Mrd. Euro) entsprach. Zusammen mit den Maßnahmen ohne programmiertes Bodenschutzziel wurden etwa 720,8 Mio. Euro investiert, was den Anteil am Gesamtbudget um ca. 3,2 % 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 Schwerpunktbereichen hatten.

Der größte Anteil (44 %) des bis 12/2024 verausgabten Budgets für bodenschutzrelevante Maßnahmen entfiel auf den Ökolandbau. Die Vielfältigen Kulturen im Ackerbau, mit denen ca. 43 % der landwirtschaftlichen Fläche erreicht wurden, hatten einen weiteren großen Anteil am Gesamtbudget.

Tabelle 14: Output und Finanzen der Maßnahmen ohne programmiertes Bodenschutzziel

Code	Teilmaßnahme/Vorhabenart	physischer Output				finanzierter Output					
		Indikative Zielgröße ¹⁾	Wert	Einheit	Förderhöchststand ²⁾	Wert	Einheit	Zielwert-erreichung [%]	Indikative Zielgröße [Euro]	Stand 2024 öffentliche Ausgaben [Euro]	Zielwert-erreichung [%]
Physische Flächen zum Förderhöchststand, Öffentliche Ausgaben zum Ende 2024											
4.32	Neuordnung ländl. Grundbesitzes/Flurbereinigung ²⁾	2.400	Vorhaben		386	Vorhaben		16	45.882.982	20.676.722	45
7.6	Unterstützung kulturelles Erbe Naturschutz ³⁾	k.A.	Vorhaben		520	Vorhaben		-	22.889.884	25.237.701	110
Summe öffentliche Mittel											
45.914.423											

1) Programmversion 8.0 (2021)

2) für M4.3 gemeinsam berichtet (Monitoring für 2023)

3) Monitoring für 2023. In der Wirkungsbetrachtung werden die Bewilligungsdaten (2016-2022) herangezogen.

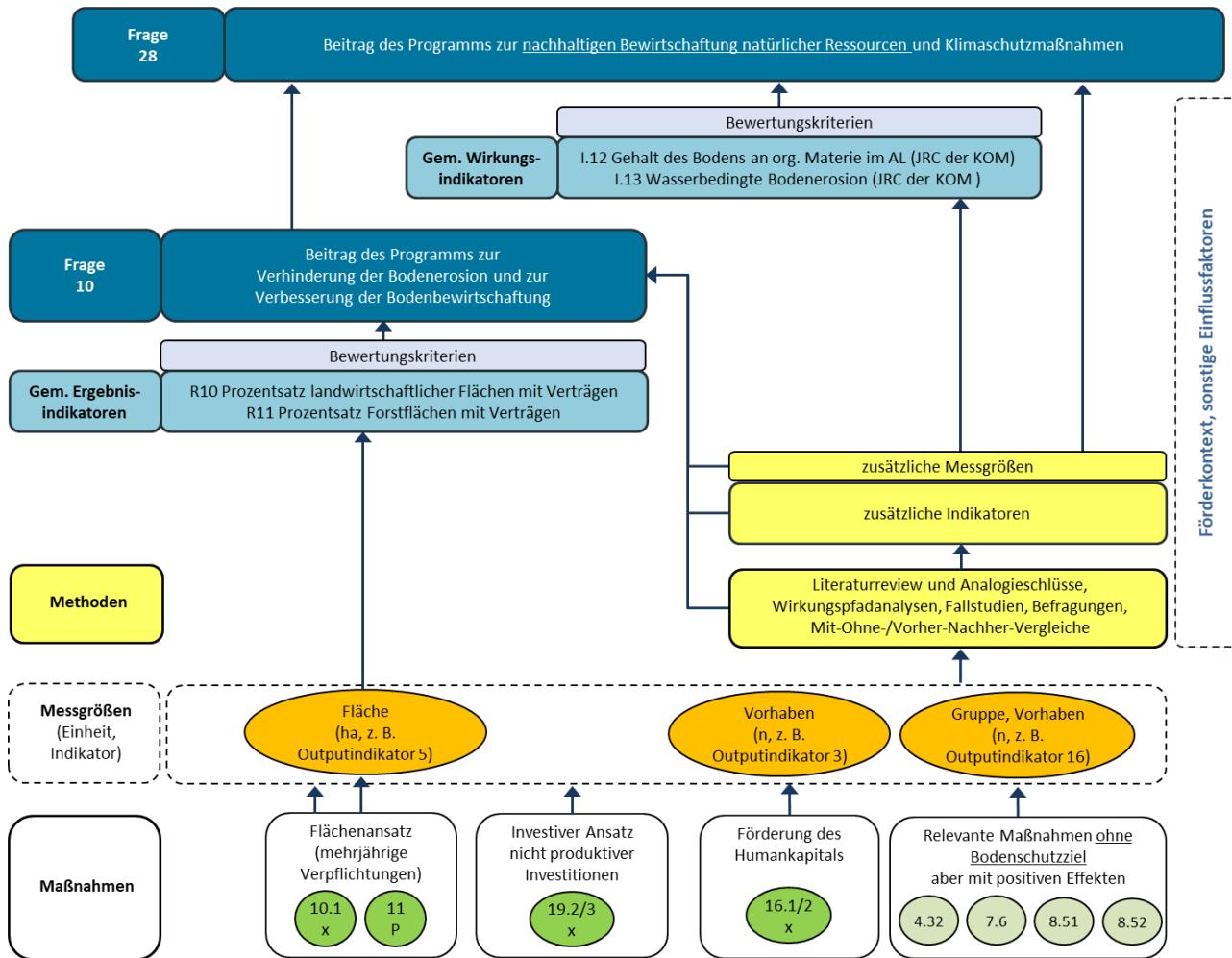
Quelle: Eigene Darstellung mit Daten des Programms 8.0 (MULNV, 2021a), öffentliche Ausgaben (2015-2024), Daten des Landesbetriebs Wald und Holz NRW (2024) sowie vereinzelt Monitoringdaten (2023).

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



P = prioritäres Ziel SPB 4C, x = sekundäres Ziel SPB 4C.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Leserichtung ist dabei von unten nach oben, ausgehend von für SPB 4C relevanten Maßnahmen. Die Anzahl der geförderten Flächen bzw. Vorhaben wurde anhand der Output-Indikatoren erhoben. Für Flächenmaßnahmen (AUKM, 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 Programmevaluator: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, Wirkungspfadaanalysen, 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 Erosionsschutz und Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung, Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe, Erhöhung der Naturnähe sowie EIP-Projekte zur Verbesserung des Bodenschutzes in der Landwirtschaft sind für diese Frage relevant.

In der Wirkungsanalyse wird die Wirkung der mit diesen Maßnahmen 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:innen 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 Programmwicklung 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 NRW-Programm Ländlicher Raum wurden keine quantitativen Wirkungsziele für den Bodenschutz festgelegt. Die Bodenschutzwirkung des EPLR wird anhand der im Feinkonzept festgelegten qualitativen Bewertungskriterien, z. B. „die Fördermaßnahme/n trägt/tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei“, bewertet. Auch die Ergebnisse zur Frage 10 fließen in die Beantwortung der Programmfrage mit ein.

Prinzipiell werden für die Kohlenstoffspeicherung die Ackermaßnahmen bzw. die damit geförderten Ackerflächen berücksichtigt, bei denen eine Menge an zusätzlichem Kohlenstoff in den Boden eingetragen bzw. gespeichert wird. Zudem werden auch die Maßnahmen auf Grünland berücksichtigt, die mit einem Verbot des Pflegeumbruchs verhindern, dass der bereits gespeicherte Kohlenstoff freigesetzt wird.

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

Als **Bewertungskriterien** werden die in Tabelle 15 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 15: Zuordnung der Indikatoren und Messgrößen zu den Bewertungskriterien

Bewertungskriterium	Indikator, Messgröße	Ebene
Veränderungen der Bestockungsverhältnisse mit dem Ziel Stabilisierung und Erhöhung der Naturnähe.	O3: Anzahl der geförderten Maßnahmen/Vorhaben	Ebene der Maßnahmen, z. B. Vielfältige Kulturen im Ackerbau
Auf gekalkten Flächen wird die Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe unterstützt.	O5: Landwirtschaftliche Fläche mit Bewirtschaftungsverträgen zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung/Verhinderung von Bodenerosion	
Die Fördermaßnahmen tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei.	O16: Zahl der unterstützten EIP-Gruppen, Zahl der unterstützten EIP-Vorhaben sowie Zahl und Art der Partner in den EIP-Gruppen	
Die Fördermaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei.	Gekalkte Flächen mit Kalkungsbedarf	
Im Rahmen von EIP wurden Projekte zur Verbesserung des Bodenschutzes in der Landwirtschaft durchgeführt.		
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 Fördermaßnahmen tragen zur Kohlenstoffbindung/-speicherung 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 Fördermaßnahmen 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 (Bathke et al., 2023) und der ELER Durchführungsverordnung (DVO (EU) Nr. 808/2014)

Im Folgenden werden anstelle der langen Bewertungskriterien entsprechende Kurzbezeichnungen verwendet: Wassererosionsschutz, Winderosionsschutz, Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald sowie Kohlenstoffspeicherung im Boden.

Als **zusätzliche Messgrößen** werden sowohl auf Ebene der Maßnahmen als auch im SPB 4C zum einen die Kohlenstoffeintragsraten pro Hektar und Jahr sowie gesamt für die Maßnahmen bei den Bewertungskriterien „Die Fördermaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei“ herangezogen. Diese werden aus der Literatur entnommen und sind nachfolgend aufgelistet:

- Poeplau und Don, 2015,
- Lugato et al., 2014,
- Wiesmeier et al., 2020,
- Drexler et al., 2021,
- Tiefenbacher et al., 2021,
- Krauss et al., 2022,
- Körschens et al., 2013,
- Harbo et al., 2022,
- Honecker et al., 2022.

4.2 Daten

Die verwendeten Datengrundlagen umfassen verschiedene Sekundärdaten. Dazu werden Evaluationsberichte/Bewertungsberichte anderer Autor:innen, InVeKoS-Daten (verschiedene Jahre aus dem Zeitraum 2015 bis 2022), vereinzelt Monitoringdaten (aus 2023, 2025), vorhabenbezogene Förderdaten des

Landes zu den Bodenschutzkalkungen und zum Waldumbau (Landesbetrieb WUH, 2024), Angaben aus der Literatur und Verwaltungsdokumente (z. B. Förderrichtlinien) ausgewertet.

Für die Bewertungskriterien „Die Fördermaßnahmen tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei“ und „Der Bodenschutz auf Flächen mit Verwaltungsverträgen ist wiederhergestellt, geschützt und verbessert worden“ werden die geförderten Ackerflächen der AUKM und des Ökolandbaus, welche den Bodenschutz unterstützen, inhaltlich weiter nach ihrem Grad der Erosionsgefährdung aufgeschlüsselt. Getrennt nach den Erosionsgefährdungskulissen CC_{Wasser} und CC_{Wind} sowie E_{nat}-Klassen werden die Summen der geförderten Hektar der relevanten Maßnahmen analysiert. Zudem wird der vermiedene Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar und Jahr sowie als Gesamtsumme als Messgröße verwendet, welche mithilfe der ABAG berechnet wurde (siehe Methodik Wassererosionsschutz). Dazu wurden die Werte aus der wissenschaftlichen Veröffentlichung von Auerswald et al. (2021) zur Qualifizierung des C-Faktors hinzugezogen. Dazu wurden verschiedene Werte aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Qualifizierung der einzelnen ABAG-Faktoren berücksichtigt:

- Meyer, 2000,
- Maetens et al., 2012,
- LfL, 2023,
- Jacobs et al., 2018.

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 Evaluation 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 wären. 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 Tabelle 16 charakterisiert werden.

Tabelle 16: 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 Handlungssänderung 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 aus dem Evaluations-Bewertungskonzept (unveröffentlicht).

Grundannahme bei der Kategorisierung von Mitnahmen ist, dass Teilnehmenden, welche durch die Maßnahmen eingeforderte Bewirtschaftungsaflagen 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 Maßnahmen und Vorhabenarten gemessenen Wirkungen abgezogen. Somit ergibt sich eine Netto-Wirkung ohne die Mitnahmen. 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 (Reiter et al., 2024). Bei den investiven Maßnahmen 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, die CC-Regelungen 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 enthalten. 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 erfolgt mithilfe verschiedener Festlegungen:

- die Gestaltung der Bewirtschaftungsaflagen, die z. T. deutlich oberhalb des durch Umwelt- und Ordnungsrecht vorgegebenen Standards liegen,
- die Förderung von neuen, umweltfreundlichen Techniken (über den Stand der Technik) oder
- durch das Setzen von Bagatellgrenzen, gleichermaßen die Förderung von „eh-schon-da-Flächen“ ausschließen und zur Minderung von Verwaltungskosten der öffentlichen Verwaltung für Kleinfeldflächen beitragen (vgl. Reiter et al., 2024).

Die Mitnahmeeffekte werden über die Bewertungskriterien bewertet und nur im Einzelfall separat betrachtet.

Wirkungsdauer

Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Einschätzung der Wirkung einer Maßnahme ist ihre Wirkungsdauer. Diese beschreibt die Dauerhaftigkeit der Wirkung bzw. das Anhalten der Wirkung 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 Auflagenniveau 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 humusmehrrende 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 wie die Flurneuordnung hingegen 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 Flurbereinigung eingebrachten Biotopstrukturen mit Bodenschutzwirkung müssen aufgrund den Vorgaben des FlurbG dauerhaft erhalten bleiben. Als Annahme wird ein Zeitraum für investive Maßnahmen zwischen 20 und 25 Jahren angesetzt.

Bewertungsmaßstab

Die Wirkungen der betrachteten Maßnahmen auf den Bodenschutz bzw. auf die einzelnen quantifizierbaren Bewertungskriterien Erosionsschutz (Wasser, Wind), Kohlenstoffspeicherung im Boden sowie Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald wurden anhand der in Tabelle 17 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 Winderosion kann die landwirtschaftliche Fläche innerhalb der Kulisse quantifiziert werden. Bei der Kohlenstoffspeicherung im Boden erfolgt eine Quantifizierung mit zwei verschiedenen Methoden:

- Zum einen 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.
- Zum anderen mithilfe aus der Literatur abgeleiteten Werten für den Eintrag an C_{org} in den Boden (s. o. zusätzliche Messgrößen).

Bei dem Waldumbau und der Bodenschutzkalkung ist die mit der Kalkung oder mit der Veränderung der Bestockungsverhältnisse erreichte Förderfläche ausschlaggebend (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Bewertungsskala für quantifizierbare Maßnahmenwirkungen

Bewertungskriterium	Quantifizierung	Einheiten
Wassererosionsschutz	erreichte Fläche in der CC _{Wasser} -Kulisse vermiedener Bodenabtrag	ha, % t (gesamt), t/ha
Winderosionsschutz	erreichte Fläche in der CC _{Wind} -Kulisse	ha, %
Kohlenstoffspeicherung im Boden	gespeicherte Menge an Kohlenstoff im Boden vereinfachte Humusbilanzierung als Netto und Summe zur Situation ohne Förderung	t (gesamt), kg C _{org} /ha*a Humusäquivalente (Häq/ha*a), (Häq/a), Humus C _{org} (t/a)
Erhöhung der Natura 2000 und Nährstoffstabilisierung im Wald	gekalkte Förderfläche Waldfläche mit veränderten Bestockungsverhältnissen	ha ha

Quelle: Eigene Darstellung.

Für die meisten Maßnahmen konnte die Bodenschutzwirkung quantifiziert werden, sodass eine kardinale Bewertungsskala gewählt wurde. Dies stellt den Hauptteil der Bewertung dar. Bei den investiven Maßnahmen Flurbereinigung, Investiver Naturschutz, LEADER und der Maßnahme der Zusammenarbeit 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 Einstufung der Wirkung anhand der Bewertungskriterien sowie von Literaturangaben ermöglichen.

4.3.2 Methodik Wassererosionsschutz

Um den Erosionsminderungseffekt der bodenschutzrelevanten Flächenmaßnahmen mit Wirkung auf den Wassererosionsschutz (AUKM, Ökolandbau) zu analysieren, wurden im ersten Schritt Daten zur natürlichen Erosionsgefährdung (E_{nat}-Kulisse) in Verbindung mit InVeKoS-Daten aus dem jeweiligen Jahr mit dem verfügbaren Förder(höchst)stand in NRW ausgewertet (Auszahlungsflächen).⁴ 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 kontraktiven 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. Die Feldblöcke in NRW wurden für die Gefährdung der Böden durch Wassererosion nach der Methode von Ad-Hoc-AG Boden und Hennings, V. eingeteilt (Geologischer Dienst NRW, o.J.; LWK NRW 2015), die auf der ABAG nach Schwertmann et al., 1990 basiert.

⁴ Investive Maßnahmen konnten aufgrund des fehlenden Flächenbezugs bzw. nicht vorhandener Flächenangaben nicht weiter betrachtet werden.

Die Formel der ABAG lautet:

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

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 der Bodenabtrags mithilfe der ABAG wurde zuerst entsprechend der Einteilung der Förderflächen nach Erosionsgefährdung (siehe Kapitel 0) jeweils der potenzielle Bodenabtrag zugeordnet (vgl. Tabelle 18). 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 18: Wassererosionsgefährdungsstufen und deren potenzieller Bodenabtrag

CC-Klasse	Bodenabtrag		Einordnung des Bodenabtrags	t/ha/a
	K*S*R [t]	E _{nat} -Stufen		
CC _{Wasser} 0	< 15	E _{nat} 0	Keine bis sehr geringe Erosionsgefährdung	< 0,5
		E _{nat} 1	Sehr geringe Erosionsgefährdung	0,5- < 2,5
		E _{nat} 2	Geringe Erosionsgefährdung	2,5- < 5,0
		E _{nat} 3	Mittlere Erosionsgefährdung	5,0- < 7,5
		E _{nat} 4	Hohe Erosionsgefährdung	7,5- < 15
CC _{Wasser} 1	15 bis < 27,5	E _{nat} 5.1	Sehr hohe Erosionsgefährdung	≥ 15
CC _{Wasser} 2	≥ 27,5	E _{nat} 5.2	Sehr hohe Erosionsgefährdung	≥ 15

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Anlage 2 der AgrarZahlVerpfIV und nach DIN 19708:2005-02.

Im zweiten Schritt wurde die in der Kulisse (E_{nat}1-5.2) gelegene geförderte Ackerfläche der Flächenmaßnahmen beziffert. Für den dritten Bearbeitungsschritt wurde der Erosionsvermeidungseffekt der Maßnahmen im Vergleich zur Bewirtschaftung der Flächen ohne diese Fördermaßnahme geschätzt (natürliche Erosionsgefährdung, kontraktive Situation ohne Förderung). Dies geschah unter der Annahme, dass die Bewirtschaftung im Rahmen der Maßnahmen 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 die Flächenmaßnahmen 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 ist (Brunotte, 2007). Durch eine permanente Bodendeckung wird dem Niederschlag die erosive Wirkung entzogen. Dies führt dazu, dass Bodenabtrag auf den Förderflächen nach der ABAG rechnerisch fast vollständig verhindert wird. Abhängig von der Bewirtschaftung der angrenzenden Flächen und der Dimensionierung der Streifen (Fördermaßnahmen BLÜ und UFE/ERO) kann sich die Minderungswirkung auch für diese Flächen entfalten. Der L-Faktor wird durch die Länge des Hanges berechnet. Abgeleitet von den Förderbedingungen und der maximalen Breite der Streifen wird eine Länge von zwölf Metern für die Blüh- und Schonstreifen sowie 30 Metern für die Streifenmaßnahmen UFE/ERO angenommen. Dies entspricht einem L-Faktor von 1 (keine weiteren Angaben verfügbar) für die zwölf Meter Maximalbreite und 1,1 für die 30 Meter Maximalbreite (LfL, 2023). Zwölf und 30 Meter entsprechen jeweils der maximalen Fließstrecke der Streifen. Bei einer geringeren Streifenbreite wird der errechnete Wert der ABAG dahingehend überschätzt. Bei allen anderen Maßnahmen wird der L-Faktor ebenfalls auf 1 gesetzt. Der P-Faktor gibt die erosionsmindernde Wirkung durch Querbearbeitung (Konturnutzung, Streifennutzung) an (Schwertmann et al., 1990). Da keine Daten auf Schalgebene vorliegen, wird der P-Faktor auf 1,0 – keine besonderen Erosionsschutzmaßnahmen bzw. eine Bewirtschaftung entlang des Hanges – gesetzt (Meyer, 2000; LfL, 2023; Schmaltz et al., 2023; Schwertmann et al., 1990). Eine Ausnahme bilden die Erosionsschutzstreifen, für die ein P-Faktor basierend auf der Literatur von 0,26 angenommen wird (Maetens et al., 2012).

Im letzten Schritt wurde für die in den Kulissen 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 einzuschätzen und als erste theoretische Flächengröße 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 Winderosionsschutz

International gibt es bisher kein wissenschaftlich akzeptiertes Standardverfahren zur Quantifizierung windbedingter Abtragsprozesse (Bach, 2008 zitiert in: Honecker et al., 2022). Eine Zuordnung von Abtragsmengen zu den E_{nat} -Stufen wie bei der Wassererosion ist nach der DIN 19706:2013-02 nicht vorgesehen und demnach nicht möglich (Steininger und Wurbs, 2017). Um im Rahmen dieses Berichts trotzdem den Umfang der Schutzwirkung einschätzen zu können, erfolgte eine Quantifizierung der erosionsmindernden Wirkung der Maßnahmen anhand der InVeKoS-Förderflächen (vgl. Tabelle 13 und Tabelle 14, ggf. weiter zum Bodenschutzaspekt konkretisiert). Vergleichbar mit der Methodik des Wassererosionsschutzes wurden die Förderflächen der Maßnahmen in die E_{nat} -Kulisse und in die CC_{Wind} -Kulisse eingeteilt. Die Einteilung in die Gefährdungsstufen ist Kapitel 0 zu entnehmen.

Dabei wurden die ganzen Flächen bei den Flächenmaßnahmen zur Bestimmung einbezogen. Bei den Hecken geht die Wirkung über die eigentliche Förderfläche hinaus. Durch die Senkung der Windgeschwindigkeit an den

Hecken, bildet sich, abhängig von der Windhindernishöhe, ein luvseitiger aber vor allem ein leeseitiger Schutzbereich aus. Dieser beträgt auf der Leeseite bis zu einem 25-fachen der Windhindernishöhe, auf der Luvseite bis zu einem 5-fachen (Duttmann et al., 2011). Mangels Daten zur Dimensionierung bzw. Ausdehnung der Hecken und Lagen innerhalb des geförderten Teilschlags im Rahmen des Vertragsnaturschutzes Hecken (M10.1.8) konnte zur Quantifizierung nur die gesamte Teilschlagfläche berücksichtigt werden. Demnach erfolgte die Quantifizierung des Wirkbeitrags hinsichtlich der erreichten Fläche aufgrund von Informationen zur Verortung und Dimensionierung der Teilschläge in der CC_{Wind}-Kulisse. Dies stellt trotz Berücksichtigung des größeren Wirkbereichs der eigentlichen Heckenfläche bei einer optimalen Lage bzgl. der Windrichtung eine Überschätzung der Flächenwirkung dar, welche jedoch datenbedingt nicht verhindert werden kann.

Bei der Flurbereinigung lagen ausschließlich Befragungsdaten von Verfahrensbearbeitenden aus den Jahren 2007, 2010 und 2015 vor. Auf Basis von 23 ausgewählten Verfahrensgebieten wurden Daten zu geförderten linienhaften Biotopstrukturen (Hecken/Knicks und Baumreihen) erfasst (vgl. Bericht von Bathke (2025, in Vorbereitung), Tabelle 9). Hier konnte nur mit geschätzten Angaben der neugepflanzten Hecken (über Kompensationsmaßnahmen nach Eingriffsregelung hinaus) nach Auswertungen von Bathke (2025, in Vorbereitung) und Bathke und Tietz (2016) gearbeitet werden. Zu den im Rahmen investiver Maßnahmen angelegten Hecken gibt es keine Angaben zur Lage in der CC_{Wind}-Kulisse oder deren Dimensionierung, weshalb hier keine Quantifizierung des Wirkbeitrags vorgenommen werden konnte.

4.3.4 Methodik Kohlenstoffspeicherung im Boden

Zur Analyse des Beitrags der Maßnahmen zur Kohlenstoffspeicherung im Boden wurden verschiedene Datenquellen hinzugezogen. Die InVeKoS-Daten liegen für die Flächenmaßnahmen jeweils für die Jahre der Förderhöchststände vor. Für die Quantifizierung wurden zusätzlich Literaturquellen verwendet, welche neben der qualitativen Wirkungsabschätzung auch Richtwerte zur Einordnung der Ergebnisse darstellen. Zudem fanden zur Quantifizierung auch die Werte des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) Verwendung. Für LEADER und die Europäischen Innovationspartnerschaften (EIP-Agri) wurden die verfügbaren Daten hinsichtlich ihres Bodenbezugs ausgewertet. Dafür waren verschiedene Daten von Förderanträgen, Projektbeschreibungen bis hin zu und Abschlussberichten von Bedeutung.

Der Aspekt Kohlenstoffspeicherung im Boden wird sowohl durch die Maßnahmen auf Ackerflächen bedient, welche Kohlenstoff in den Boden eintragen/festlegen, als auch durch Grünlandmaßnahmen, bei denen durch ein Verbot des Pflegeumbruchs der bereits gespeicherte Kohlenstoff im Boden gehalten wird.

Für die Auswertung der Flächenmaßnahmen Vielfältige Kulturen und Ökolandbau 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. Die Fruchtarten wurden in die Kategorien „Humusmehrer“ (Gewinn an Bodenkohlenstoff, humusmehrende Pflanzen, positive Werte) und „Humuszehrer“ (Verlust an Bodenkohlenstoff, negative Werte) eingeteilt. Den Maßnahmen wurden über die jeweiligen Nutzcodes entsprechende Werte der Humusreproduktionsleistung ($\text{Häq}/\text{ha}^*\text{a}$)⁵ zugeordnet. Nur in Einzelfällen, in denen aus der Literatur aktuellere Werte zu Kohlenstoffeintragsmengen bestimmter Flächennutzungen/Nutzcodes vorlagen, wurden diese herangezogen. Die Einheit des fruchtartenspezifischen Humusbedarfs ist $\text{kg C}/\text{ha}^*\text{a}$. Bei der vom VDLUFA

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

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 Ökolandbau 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 humusmehrnde Wirkung der auf dem Feld verbleibenden Koppelprodukte berücksichtigt. Dazu wurde der Korntrag (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 humusmehrnde Wirkung mit einem Wert von 320 kg C_{org}/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.

Angewendet wurde die vereinfachte Humusbilanzierung in Form eines Mit-Ohne-Vergleichs bzw. DiD-Vergleichs. 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 2015 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 Kohlenstoffeintragsraten der verschiedenen Maßnahmen am wenigsten bestimmt für den Kohlenstoffgehalt und -vorrat im Boden sind, aber eine für diesen Rahmen geeignete Herangehensweise zur Quantifizierung darstellen.

5 Wirkungen und Wirksamkeit

Für die Analyse und Bewertung der Bodenschutzwirkung des Programms werden die Bewertungskriterien Wassererosionsschutz, Winderosionsschutz, Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden sowie Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald 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.

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.

5.1 Wirkpotenzial Erosionsschutz

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.

Die Wirkungsanalyse teilt sich in die zwei Bereiche Wassererosions- und Winderosionsschutz auf, welche in zwei Unterkapiteln behandelt werden.

5.1.1 Wassererosionsschutz

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 11 und Tabelle 12). 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, 2004b). 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, 2007b; Feldwisch und Frick, 2002). Mit einer geschlossenen Bodendecke kann das Wasser seine erosive Kraft beim Aufprall auf die Bodenoberfläche nicht entfalten. Damit wird eine Verschlämzung 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; 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).

5.1.2 Winderosionsschutz

Unter Winderosion wird der Prozess des äolischen Bodenabtrags und der Bodenverlagerung gefasst, welcher durch die menschliche Tätigkeit verstärkt ist und über das natürliche Maß hinausgeht (Steininger und Wurbs, 2017; Honecker et al., 2022). Die Anfälligkeit gegenüber Winderosion wird vor allem durch unveränderbare Faktoren wie

- das Klima wie z. B. die Windgeschwindigkeit,
- die Hydrologie wie z. B. Vorherrschen einer (zeitlich begrenzten) negativen klimatischen Wasserbilanz und
- die Erodierbarkeit des Bodens (Erosionsanfälligkeit aufgrund von Bodenart und Humusgehalt)

bestimmt.

Verringert werden kann die Winderosion, ähnlich wie die Wassererosion, nur durch Veränderung der Ackerflächenzuschnitte, der Flächenbewirtschaftung bzw. das Umsetzen von Schutzmaßnahmen (Steininger und Wurbs, 2017; Honecker et al., 2022). Diese Veränderungen wirken sich auf die Faktoren der **Bodenbedeckung** und der Länge der Ackerschläge aus. Beim Wind (eigentlich ein unveränderbarer Faktor) kann nur die Geschwindigkeit an der Bodenoberfläche durch aufwendige Maßnahmen wie das vertikale Untergliedern der Flächen verändert bzw. verringert werden. Durch das Einbringen von Strukturelementen wie Hecken, Knicks oder linearen Feldgehölzen wird die **Feldlänge verkürzt** und die **Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche reduziert**. Werden mehrere lineare Elemente mit einem entsprechenden Abstand nebeneinander angelegt, erfolgt eine Anhebung des Strömungsfeldes und die Bodenoberfläche wird vor der erosiven Wirkung des Windes geschützt. Aber auch das Anlegen von Grünstreifen (Erosionsschutz- oder Gewässerschutzstreifen) quer zur Hauptwindrichtung oder der Streifenbewirtschaftung mit verschiedenen Fruchtarten im Wechsel sind wirksame Winderosionsschutzmaßnahmen (Duttmann et al., 2011). Vergleichbar mit der Schutzwirkung gegen Wassererosion ist auch eine konservierende oder pfluglose Bewirtschaftung (**bodenschonende Bewirtschaftung**) aufgrund der höheren Bodenbedeckung (ab > 25 %) zur Verringerung der Winderosion geeignet (Honecker et al., 2022; Duttmann et al., 2011). Diese Bewirtschaftungsweisen haben zudem den weiteren Vorteil, dass sie mittelfristig den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden erhöhen, was wiederum die Erosionsanfälligkeit des Bodens durch das Stabilisieren der Bodenoberfläche bzw. des Bodengefüges verringert. Betreffende Wirkungspfade mit positiver Richtung sind auch Tabelle 11 und Tabelle 12 zu entnehmen.

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). Aber auch ein Verzicht auf den Pflegeumbruch beim Grünland führt zu einem Schutz des bereits gespeicherten Bodenkohlenstoffs, weshalb die entsprechenden Maßnahmen mitberücksichtigt werden.

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 0) analysiert.

5.3 Wirkpotenzial Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald

Dem Bewertungskriterium Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald sind in diesem Bericht zwei Wirkungsfaktoren zugeordnet worden, welche sich anhand der Maßnahmen und deren bedienten Wirkungsfaktoren unterscheiden.

Im Rahmen der Maßnahme Waldumbau wird das **Bestockungsverhältnis im Wald angepasst**, weshalb langfristig auch ein Beitrag zur **Erhöhung der Naturnähe** erzielt wird. Die Maßnahme stellt die Sicherung der Baumartenmischung und Entwicklung stabiler Bestände durch die rechtzeitige Pflege von Jungbeständen dar. Damit verbunden können Wirkungen wie Verbesserung/Wiederherstellung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit durch eine verbesserte Durchwurzelung des Bodens und veränderte Streuzusammensetzung laubholzreicher Bestände erwartet werden. Zudem ist eine Stärkung der Senkenfunktion des Waldes zu erwarten, was eine Begründung stabilerer und nachhaltigerer Bestände (nicht Maximierung Speicherleistung) ermöglicht (vgl. Rorig, 2025).

Für die Bodenschutzkalkung 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 in Kapitel 0 und mit dem gesetzten Zielwert dargestellt, gibt es in NRW einen großen Umfang an kalkungswürdigen Forstflächen, weshalb ein großes Potenzial zur besseren Bewirtschaftung der Flächen besteht.

5.4 Wirkungen der Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzzieilen

Die Einschätzung zu den Wirkungen der Maßnahmen mit programmiertem SPB 4C-Ziel gliedert sich in die Bewertungskriterien Wassererosionsschutz, Winderosionsschutz und Kohlenstoffspeicherung im Boden. In den folgenden zwei Kapiteln werden zuerst die Flächenmaßnahmen (AUKM und ÖKO) und dann in einer Gesamtbetrachtung die weiteren z. T. investiven Maßnahmen (Waldumbau, Bodenschutzkalkung, EIP-Agri und LEADER) behandelt.

5.4.1 Flächenmaßnahmen

Bei den Flächenmaßnahmen gilt es zu berücksichtigen, dass Kombinationen von AUKM und dem Ökolandbau möglich waren. Diese wirken sich auf die Angabe der netto geförderten Flächen aus, also ohne Doppelzählungen. Ausführungen zu den umgesetzten Kombinationen der Maßnahmen untereinander sind dem Bericht von Reiter et al. (2024) Kapitel 6 zu entnehmen. Flächenmäßig am stärksten waren im Jahr 2020 auf den Ackerflächen von insgesamt 15.962 ha die Kombinationen von ÖKO mit VK-Förderung (12.257 ha) sowie VK-Förderung mit ZWF-

Anbau (2.202 ha). Die Kombinationen werden im Weiteren bis auf die Kombination von VK-Förderung und ÖKO nicht weiter betrachtet.

5.4.1.1 Wassererosionsschutz

5.4.1.1.1 Anbau von Zwischenfrüchten

Ein Anbau von ZWF in Verbindung mit Mulchsaat kann in erosionsgefährdeten Lagen zum Erosionsschutz beitragen. Dabei ist ein zentrales Ziel, die Bodenbedeckung zu erhöhen, etwa durch absterbendes, abgestorbenes oder strukturreiches Material und somit die Bodenoberfläche vor der erosiven Kraft des Wassers zu schützen (Brunotte et al., 2022; Wiesmeier et al., 2020; Tiefenbacher et al., 2021). Ähnlich wirken auch Untersaaten zur temporären Erhöhung der Bodenbedeckung (Honecker et al., 2022). Mit ZWF und Untersaaten ist die Aggregatstabilität erhöht und Bioporen sind vermehrt vorhanden, was zu einer verbesserten Bodenporosität führt. Dadurch wiederum ist die Wasserinfiltration erhöht, was das Risiko von Oberflächenverschlammung reduziert (Helfrich et al., 2024; Guggenberger und Gentsch, 2023; Wüstemann et al., 2023). Gemäß den Förderbedingungen mussten winterharte ZWF angebaut oder Untersaaten vorgenommen werden. Aber auch abfrierende ZWF waren zulässig, sofern sie nach der Hauptkultur mittels Mulch- oder Direktsaatverfahren ausgebracht wurden (was wiederum die Bodenbedeckung erhöht) (RL AUM 2015). Ein weiterer Vorteil für den Wassererosionsschutz ist, dass nach dem Absterben der ZWF eine hohe Bodenwasserspeicherung (höher als bei einer Brache) nachgewiesen werden konnte (Guggenberger und Gentsch, 2023). Diese Maßnahme war flächenmäßig zu Beginn der Förderperiode eine starke AUKM, hat jedoch das indikative Ziel von 50.000 ha Ackerfläche nicht erreicht (MUNLV, 2021). Die Möglichkeit des ÖVF-Zwischenfruchtanbaus ab 2015 hat viele Betriebe zu einem Umstieg veranlasst. Einen weiteren Rückgang in den Förderzahlen gab es ab 2019/2020. Ursächlich war das verschärzte Ordnungsrecht (DÜV, WRRL, Erweiterung Rote Gebiete, Ausschluss von ZWF-Förderung ab Herbsteinsaat 2021).

Prinzipiell wird durch das Maßnahmendesign an den richtigen Wirkungskomponenten angesetzt (Bodenbedeckung zum erosionsanfälligen Zeitraum), wodurch der Wirkungsbeitrag als sehr positiv einzuschätzen ist. Allerdings ist der Bedeckungszeitraum nur einige Monate verpflichtend. Zudem lag nur ca. ein Prozent der geförderten Fläche in den höheren E_{nat} -Erosionskulissen (ab $E_{nat}3$, mittlerer Erosionsgefährdung) (vgl. Tabelle 21). Somit steht dem hohen Wirkungspotenzial ein geringer erreichter Teil der erosionsgefährdeten Flächen gegenüber.

5.4.1.1.2 Anlage von Blüh- und Schonstreifen

Mit der Förderung wurde die Neuanlage ein- oder mehrjähriger Blüh- und Schonstreifen oder Blüh- und Schonflächen auf Ackerflächen vergütet. Entsprechend den Förderbedingungen (siehe oben im Kapitel 0 oder RL AUM 2015) ist für den Wassererosionsschutz neben der Dimensionierung vor allem die Bodenbedeckung ausschlaggebend. Je dichter der Bewuchs der eingesäten Mischung, desto höher ist der Schutz des Bodens vor dem Auftreffen der erosiven Kraft des Regens. Ein weiterer Wirkungsfaktor bei der Bodenbedeckung ist die Dauer. Je länger die Bedeckung anhält, desto länger hält auch der Schutz an, da die Grasnarbe dichter bleibt und wird. Dies führt dazu, dass für den Wassererosionsschutz die mehrjährigen/lagetreuen Blüh- und Schonelemente eine deutlich größere Wirkung entfalten als die einjährigen. Das Mulchen, welches jedes zweite Jahr vorgenommen werden muss, ist nicht zuträglich für den Erhalt der Grasnarbe. Besser wäre es, wenn das Schnittgut von der Fläche abgefahren wird (Skowronek und Schelmer, 2000).

Für den Erosionsschutz wird die Wirkung zudem erhöht, wenn der Schlag mit Blüh- oder Schonstreifen bzw. -flächen entsprechend dem Gefälle so ausgestattet wird, dass eine Verkürzung der erosiven Hanglänge erfolgt. Durch räumliche Geodatenanalysen konnte bei den Blüh- und Schonstreifen bzw. -flächen festgestellt werden, dass zwölf Prozent der geförderten Fläche an Dauergrünland angrenzen (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19: Räumliche Lage der BLÜ-Förderflächen

Kulisse/Lage	Förderfläche			
	Anzahl [n]	[%]	Fläche [ha]	[%]
Gesamt	29.101		6.027	
davon Lage angrenzend an:				
Dauergrünland	3.207	11	730	12
Wald	2.878	10	102	2

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von CORINE Landcover (Copernicus, 2018), Dauergrünland (LWK NRW, 2021).

Der Mehrwert hinsichtlich des Erosionsschutzes ist im Gegensatz zu Ackerflächen als direkte Nachbarschaft geringer, da (Dauer-)Grünland aufgrund der dauerhaft hohen Bodenbedeckung weniger anfällig für Erosion ist (Honecker et al., 2022). Durch die Lage angrenzend an Dauergrünland kann die Erosionsschutzwirkung der Blüh- und Schonstreifen/-flächen demnach nicht die volle Wirkung entfalten, was als anteiliger Mitnahmeeffekt aus Sicht des Bodenschutzes zu werten ist. Die an Wald angrenzende Förderfläche (zwei Prozent) ist aus zwei Blickwinkeln zu betrachten. Die zusätzliche Erosionsschutzwirkung ist gegenüber Ackerflächen ohne angrenzende Waldfäden gering, da der Wald eine hohe Infiltrationsleistung aufweist und das Risiko zum Auftreten von Erosion i. d. R. verringert wird (Abwesenheit von Fremdwasserzufluss, Lage am Oberhang). Bei einer Lage der BLÜ-Förderflächen am Hangfuß mit dort angrenzendem Wald ist jedoch auch eine Schutzwirkung gegenüber negativ wirkenden Stoffeinträgen von Erosionsereignissen (und ein Schutz durch das Verbot von PSM-Anwendung) denkbar. Allerdings kann bei diesen Flächen davon ausgegangen werden, dass infolge von Beschattung durch die Bäume die Ertragsverluste vergleichsweise geringer sind (geringeres Ertragspotenzial) als auf Lagen der BLÜ-Förderflächen im Inneren der Feldblöcke und somit die Prämie eine Überkompensation darstellen könnte.

5.4.1.1.3 Uferrand- und Erosionsschutzstreifen

Die Erosionsschutzstreifen (ERO) als dauerhaft bewachsene Flächen bedienen den Wirkungsfaktor Erhöhung der Bodenbedeckung. Aufgrund der erhöhten Rauigkeit der Bodenoberfläche und der daraus folgenden verminderten Fließgeschwindigkeit kann der Regen seine erosive Kraft nicht entfalten, und somit wird das Risiko des oberflächigen Bodenabflusses reduziert (Honecker et al., 2022). Wenn die Grünstreifen an besonders gefährdeten Acker(teil)flächen oder Tiefenlinien platziert werden, ist die Wirkung für den Erosionsschutz am stärksten (LfULG, 2010; Pecoroni und Peter, 2021). Der zweite Wirkungsfaktor Reduzierung der erosiven Hanglänge kommt zum Tragen, wenn die Anlage der Streifen quer zum Hang oder als Schlagteilung der erosionsgefährdeten Hänge gewählt wird. Dabei ist vor allem auf die ausreichende Dimensionierung zu achten, um das mit dem abfließenden Wasser mitgeführte Material zurückhalten zu können. Das gilt sowohl bei Streifen in der Hangmitte als auch am Hangfuß (Pecoroni und Peter, 2021; Honecker et al., 2022). Uferrandstreifen (UFE) mussten nach den Förderbedingungen entlang von Oberflächengewässern liegen (RL AUM 2015) und bedienen auch den Wirkungsfaktor der erhöhten Bodenbedeckung. Allerdings kann auch bei den Uferrandstreifen ein Beitrag zur Reduzierung der erosiven Hanglänge geleistet werden, wenn dadurch der Hang in Gefällerichtung angrenzend an das Gewässer verkürzt wird. Durch die dauerhafte Bodenbedeckung wird der C-Faktor der ABAG bei UFE und ERO nahezu auf null gesetzt (Auerswald et al., 2021), was rechnerisch einen Bodenabtrag nahezu ausschließt. Somit setzen diese Maßnahmen an den richtigen Wirkungskomponenten an (hohe Bodenbedeckung, bei den Erosionsschutzstreifen in der notwendigen Kulisse, bei den Uferrandstreifen entlang von Gewässern) und bleiben auch für eine vergleichsweise lange Zeit (i. d. R. fünf Jahre) lagetreu. Dadurch, dass die Erosionsschutzstreifen deutlich über 90 % in der entsprechenden wassererosionsgefährdeten Kulisse liegen,

ist der Beitrag höher als der der Uferrandstreifen, von denen ca. 7 % der geförderten Fläche in dieser Kulisse lagen.

Bei einer sinnvollen Dimensionierung und Lage von Grünstreifen kann die Erosionsschutzwirkung auch auf angrenzende Ackerschlüsse erweitert werden. Auswertungen von Befragungen der Zuwendungsempfänger:innen der **Erosionsschutzstreifen** im Bericht von Scholz (2024) legen dies nahe. Der Großteil der Befragten gab an, dass ein Auftreten von Erosionsereignissen auf unterhalb angrenzenden Ackerschlüessen verhindert wurde. Dies unterstützt den in der Literatur beschriebenen Effekt, dass durch die sinnvolle Anlage von Erosionsschutzstreifen sowohl Onsite-Schäden auf dem Schlag als auch Offsite-Schäden außerhalb des Schlags verhindert werden können (Honecker et al., 2022; LWK NRW, 2007b). Weitere Ausführungen zur Wirkungsbewertung der Erosionsschutzstreifen sind dem Bericht von Scholz (2024) zu entnehmen.

Die Anlage von Erosionsschutzstreifen war auch an Gewässern möglich (weshalb sie gleichzeitig auch die Funktion eines Gewässerrandstreifens laut Ordnungsrecht übernahmen). Eine Überschneidung von Erosionsschutz und Gewässerschutz besteht auch im Ordnungsrecht. Im Rahmen des geltenden Ordnungsrechts ist der Abstand von Gewässern für die Aufbringung der Pflanzenschutz- und Düngemittel durch § 5 DüV bzw. § 13a und § 38a WHG reglementiert und sukzessive ausgeweitet worden (WHG, DüV)⁷. Gewässerrandstreifen sind generell in ihren Funktionen zu erhalten. In einem Abstand von fünf Metern zur Böschungsoberkante im Außenbereich (§ 35 BauGB) ist eine Umwandlung von Grünland in Ackerland verboten (WHG). Das Aufbringen von Dünge- und Pflanzenhilfsmitteln ist je nach der an die Böschungsoberkante angrenzenden Hangneigung mit verschiedenen Abständen von drei bis zehn Metern verboten (DüV).

Die Uferrand- und Erosionsschutzstreifen konnten aufgrund der Geodatenanalyse hinsichtlich ihrer Lage im Raum näher charakterisiert werden. Besonders vor dem Hintergrund der Erosionsschutzwirkungen wurden einige Parameter untersucht. In Tabelle 20 werden die Streifen charakterisiert.

Tabelle 20: Räumliche Lage der Uferrand- und Erosionsschutzstreifen

Kulisse/Lage	Uferrandstreifen				Erosionsschutzstreifen			
	Anzahl [n]	Anzahl [%]	Fläche [ha]	Fläche [%]	Anzahl [n]	Anzahl [%]	Fläche [ha]	Fläche [%]
Gesamt	14.644		3.792		132		56	
davon Lage in:								
CC _{Wasser} 1	450	3	174	5	67	51	27	48
CC _{Wasser} 2	164	1	73	2	56	42	24	43
davon in DüV § 5 bzw. § 13 a-Kulisse	3.026	21	923	24	9	7	3	5
davon in § 38a WHG-Kulisse und DüV § 5-Kulisse	886	6	239	6	13	10	4	7
davon an Dauergrünland	1.137	8	354	9	35	27	21	37
davon an Wald	480	3	198	5	10	8	4	7

DÜV § 5 = Vorgaben für die Anwendung von stickstoff- oder phosphathaltigen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln

DÜV § 13a-Kulisse = Nitratbelastete Gebiete

§ 38a WHG = Vorgaben zu Gewässerrandstreifen

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten von CORINE Landcover (Copernicus, 2018), Dauergrünland (LWK NRW, 2020) sowie WHG und DüV-Kulissem (LWK NRW, 2024; LANUV, 2021).

Die Erosionsschutzwirkung wird bei den ERO durch die Lage am Waldrand (Abwesenheit von Fremdwasserzufluss, Lage am Oberhang), am Dauergrünland, außerhalb der Kulisse CC_{Wasser}1 und CC_{Wasser}2 und in der WHG-Kulisse gegenüber einer Anlage im Feldblockinneren reduziert. Bei den UFE reduziert sich die Erosionsschutzwirkung ebenfalls durch die Lage am Waldrand (Abwesenheit von Fremdwasserzufluss, Lage am

⁷ In der Förderperiode ab 2023 ist die Verortung der Erosionsschutzstreifen innerhalb eines zehn Meter breiten Streifens von Oberflächengewässern nicht mehr zuwendungsfähig, da sie bzgl. der Mindestbreite (fünf Meter) über das Ordnungsrecht hinausgehen müssen (Richtlinien zur Förderung von Agrarumweltmaßnahmen 2022).

Oberhang) oder am Dauergrünland sowie in der WHG-Kulisse. Waldflächen schützen durch den Baumbestand den Boden vor dem Aufprall der Regentropfen und weisen eine hohe Infiltrationsleistung auf, was die Erosionsgefährdung stark senkt (Honecker et al., 2022; LfULG, 2010). Bei einer Lage am Hangfuß mit angrenzendem Wald ist eher die Schutzwirkung der Grünstreifen denkbar (Schutz vor Nährstoffeintrag bei Erosionsereignissen und/oder durch Verzicht auf PSM- und Düngemittel). Bei Dauergrünlandflächen ist der Mehrwert hinsichtlich des Erosionsschutzes im Gegensatz zu Ackerflächen als direkte Nachbarschaft geringer, da diese aufgrund ihrer hohen Bodenbedeckung weniger anfällig für Erosion sind (Honecker et al., 2022). Das WHG enthält in § 38 Vorgaben zu den Gewässerrandstreifen, welche im Außenbereich i. d. R. fünf Meter breit sein müssen. Damit ist eine Begrünung bereits vorgegeben, weshalb die Erosionsschutzwirkung gegenüber einer Umwandlung an anderer Stelle geringer ist. Weitere Ergebnisse zur Lage der Erosionsschutzstreifen im Raum sind dem Bericht von Scholz (2024) zu entnehmen (Kapitel 5.2). Im Vergleich zu den Erosionsschutzstreifen, welche fest in CC_{Wasser}-Kulisse verortet waren, lagen die Uferrandstreifen nur zu sieben Prozent der Fläche in der stark erosionsgefährdeten Kulisse. Die Lage in der DüV-Kulisse ist dafür bei den Uferrandstreifen stärker ausgeprägt als bei den Erosionsschutzstreifen. Die Erosionsschutzstreifen weisen einen hohen Flächenanteil angrenzend an das Dauergrünland auf.

In den Untersuchungen von Scholz (2024) konnten für die **Erosionsschutzstreifen** nur in geringem Umfang Mitnahmeeffekte identifiziert werden. Der Mehrwert bzw. die Schutzwirkungen neu angelegter Erosionsschutzstreifen musste bei weniger als sieben Prozent der Förderfläche als gering eingeschätzt werden, da die Lage direkt an den Wald angrenzte. Diese Flächen zeichnen sich infolge von Beschattung durch die Bäume durch vergleichsweise geringe Ertragsverluste aus (geringeres Ertragspotenzial) gegenüber Lagen der Erosionsstreifen im Inneren der Feldblöcke (und somit kann eine Überkompensation mit der Prämie nicht ausgeschlossen werden, siehe Kapitel 5.4.1.1.2). Auch bei einigen Flächen, die an Dauergrünland angrenzen, sind im Einzelfall Mitnahmen möglich, wenn die Begrünung auf den Streifenflächen auf voller Länge/Strecke fortgesetzt wird. Bei allen Befragten bis auf drei (entsprach kalkulatorisch einem Anteil von sieben Prozent der Erosionsschutzstreifenflächen) waren Anpassungen zur Einhaltung der Förderauflagen und zum Erhalt der Prämie notwendig, wie z. B. produktionstechnische Veränderungen. Demnach werden von den geförderten Erosionsschutzstreifen keine Flächen aufgrund von Mitnahmeeffekten zum Abzug gebracht.

Prinzipiell ist für die **Uferrandstreifen** ein hohes Auflagenniveau (v. a. Vorgabe einer Kulisse und der Dimensionierung, PSM- und Düngemittelanwendungsverbot) gefordert und eine Bagatellgrenze gesetzt. Zudem wurde bei der Prämienberechnung berücksichtigt, dass sich die rechtlich vorgegebenen Abstandsregelungen zum Gewässerschutz ertragssenkend auswirken (MKULNV, 2015a). Dieses schränkt die Mitnahmeeffekte ein. Dadurch, dass Überschneidungen der Förderflächen mit den geltenden Kulissen aus dem WHG und der DüV zwischen sechs und 24 % der Förderfläche lagen, können für diese Flächen anteilige Mitnahmeeffekte auftreten. Von der Wirkungsfläche wird nichts abgezogen, da es sich nicht um vollständige Mitnahmeeffekte handelt.

5.4.1.1.4 Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen

Für den Wassererosionsschutz sind aufgrund der Förderbestimmungen nur folgende ausgewählte Pakete des Vertragsnaturschutzes auf Ackerflächen für die Wirkungsfaktoren Erhöhung der Bodenbedeckung und ggf. Verkürzung der erosiven Hanglänge relevant:

- 5021: Verpflichtung zur Untersetzung,
- 5024: Stehen lassen von Raps- oder Getreidestopeln (außer Mais),
- 5025: Ernteverzicht von Getreide bis 15. Oktober,
- 5041: Anlage von Ackerbrachen durch Selbstbegrünung,
- 5042: Anlage von Blüh- und Schutzstreifen oder -flächen durch Einsaat mit geeignetem Saatgut,
- 5100: Umwandlung von Acker in Grünland gemäß fachlichen Vorgaben.

Bei den ersten drei Paketen (5021, 5024, 5025) wird die Bodenbedeckung erhöht. Dies geschieht in Form von Untersaaten (siehe oben, Abschnitt ZWF-Anbau und Untersaaten). Stehen lassen der Stoppel erhöht den Windschutz und auch den Schutz vor Wassererosion im Vergleich zu liegenden Ernteresten (Steininger und Wurbs, 2017). Durch einen Ernteverzicht bleibt das Getreide sehr lange auf dem Feld, was wiederum gegenüber einer früheren Ernte und erneuter Bestellung des Feldes die Bodenbedeckung vergleichsweise hochhält. Die Pakete 5041, 5042 und 5100 weisen inhaltlich, bezogen auf die Erosionsschutzwirkung, Überschneidungen mit den Uferrand- und Erosionsschutzstreifen sowie den Blüh- und Schonstreifen/-flächen auf (s. o.). Bei dem Paket 5100 Umwandlung in Grünland ist die Wirkung der Selbstbegrünung gegenüber den eingesäten Brachen als geringer einzustufen. Dies ist darin begründet, dass durch eine Selbstbegrünung die ausreichende Bodenbedeckung später erreicht wird. Dadurch ist der Boden längere Zeit unbedeckt, die Erosionsschutzwirkung tritt erst später ein (Honecker et al., 2022).

Zur Bewertung wurden sowohl die Förderflächen mit den Paketen an sich als auch flächenmäßig relevante Kombinationen mit diesen Paketen gewählt.

5.4.1.1.5 Ökolandbau

Der Ökolandbau 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 Kleegras(untersaaten) auf, was das Erosionsrisiko senkt (Honecker et al., 2022; AG Erosionsschutz, 2017; Schmaltz et al., 2023). Es konnten 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 Ökolandbau durch erosionsmindernde Bewirtschaftungsmaßnahmen aus, wie hoher Eintrag bzw. Zufuhr organischer Substanz, Mulchbedeckung, diverse Fruchtfolgen mit Klee-Grasmischungen und Luzerne-Grasmischungen, was letztendlich den Erosionsschutz erhöht. 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 aufzeigte (Haller et al., 2020; Sanders und Heß, 2019).

5.4.1.1.6 Fazit: Beitrag zum Schutz vor Wassererosion

Die Flächenmaßnahmen bzw. AUKM, welche einen Beitrag zur Reduzierung der Wassererosion leisten, wurden mit ihrer erreichten Ackerfläche nach Erosionsgefährdungsstufen eingeteilt (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 21: Geförderte Ackerfläche der Maßnahmen nach Erosionsgefährdungsgrad

Kulissen	Fläche CC-Kulisse [ha]	Förderfläche in E _{nat} -Kulisse [ha]						Summe [ha]	Anteil an E _{nat} - Kulisse [%]
		ZWF	BLÜ	UFE	ERO	VNS-AL	ÖKO		
CC-Kulisse	E _{nat} -Kulisse	2.113.613	16.466	4.964	3.421	52	5.571	27.661	-
davon	davon								
CC _{Wasser0}	E _{nat} 0	156.255	1.031	37	170	0	206	569	2.014
	E _{nat} 1	644.366	9.896	1.274	1.047	0	1.338	5.548	19.103
	E _{nat} 2	494.356	3.269	1.080	873	0	1.321	4.508	11.051
	E _{nat} 3	266.104	1.243	581	476	0	29	2.787	5.116
	E _{nat} 4	390.796	819	851	607	1	1.759	5.007	9.045
CC _{Wasser1}	E _{nat} 5.1	94.040	157	695	174	26	585	4.857	6.495
CC _{Wasser2}	E _{nat} 5.2	67.697	52	445	73	24	333	4.385	5.312
Auswertungsjahr (InVeKoS)		2022	2020	2021	2020	2020	2022	2022	2022

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS (2020 bis 2022) und Erosionskulissen verschiedener Jahre (Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3) (CC_{Wasser1} und CC_{Wasser2}, 2020 bis 2022) sowie Geologischer Dienst NRW (2023, CC_{Wasser0}).

Mit den Maßnahmen wurden insgesamt 6,9 % der CC_{Wasser1}- und 7,8 % der CC_{Wasser2}-Kulisse erreicht. Getragen wurde dieser Anteil durch den Ökolandbau, welcher naturgemäß mehr Fläche erreicht als die im Umfang relativ begrenzten Streifenmaßnahmen. Allerdings erreichten die Erosionsschutzstreifen aufgrund der Kulissenlenkung mit rund 97 % an der eigenen Maßnahmenfläche am stärksten die stark erosionsgefährdeten Bereiche. Werden basierend auf den Angaben der befragten Zuwendungsempfänger:innen auch die direkt angrenzenden Ackerflächen unterhalb des Erosionsschutzstreifens als erweiterte Wirkungsfläche berücksichtigt, kann eine Fläche von 796 ha zusätzlich angerechnet werden. Zusammen mit den Erosionsschutzstreifen entspricht dies einem Anteil von 0,5 % der gesamten CC_{Wasser1}- und CC_{Wasser2}-Kulisse (Scholz, 2024).

Von den Ergebnissen der Tabelle 21 ausgehend, konnte nach der in Kapitel 4 geschilderten Methodik potenziell ein vermiedener Bodenabtrag durch Wassererosion von im Minimum (Min) rund 351.000 t und im Maximum (Max) ca. 557.000 t für die betrachteten Jahre 2020 (ZWF, UFE, ERO), 2021 (BLÜ) und 2022 (VNS-AL, ÖKO) realisiert werden (vgl. Tabelle 22).

Tabelle 22: Potenziell vermiedener Bodenabtrag durch die Maßnahmen mit SPB 4C-Ziel

CC-Klasse, E _{nat} Stufen	Vermiedener Bodenabtrag gesamt [t/a]												Summe [t/a]	
	ZWF		BLÜ		UFE		ERO		VNS-AL		ÖKO			
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
Gesamt	24.745	57.279	34.435	52.545	13.943	25.778	1.055	1.391	34.275	60.002	242.630	359.757	351.082	- 556.752
davon														
CC _{Wasser0} , E _{nat} 0	429		18		83		0		103		257		-	890
CC _{Wasser0} , E _{nat} 1	4.151	20.673	621	18	509	2.535	0	0	659	3.284	2.514	12.521	8.455	- 39.032
CC _{Wasser0} , E _{nat} 2	6.753	13.479	2.632	5.254	2.124	4.239	0	0	3.204	6.395	10.213	20.386	24.927	- 49.753
CC _{Wasser0} , E _{nat} 3	5.142	7.703	2.833	4.243	2.315	3.467	1	1	136	204	12.651	18.951	23.077	- 34.570
CC _{Wasser0} , E _{nat} 4	5.086	10.165	6.221	12.434	4.429	8.851	10	19	12.762	25.506	34.347	68.648	62.854	- 125.624
CC _{Wasser1} , E _{nat} 5.1	1.977	3.623	10.169	18.636	2.545	4.663	391	717	8.525	15.623	67.670	124.016	91.276	- 167.279
CC _{Wasser2} , E _{nat} 5.2	1.206		11.941		1.940		653		8.886		114.977		139.603	-
Vermiedener Bodenabtrag pro Hektar [t/a]														
Gesamt	2	3	7	11	4	8	20	27	6	11	9	13	47	- 72

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS (2020 bis 2022) und Erosionskulissen verschiedener Jahre (Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3) (CC_{Wasser1} und CC_{Wasser2}, 2020 bis 2022) sowie Geologischer Dienst NRW (2023, CC_{Wasser0}) und Angaben aus Auerswald et al. (2021).

Dabei ist zu erkennen, dass, basierend auf dem Umfang der erreichten Förderfläche, der gesamte potenziell vermiedene Bodenabtrag beim Ökolandbau am höchsten war. Werden hingegen die vermiedenen Bodenabträge pro Hektar ausgewertet, sind die Erosionsschutzstreifen am effektivsten. Das ist neben dem geringen C-Faktor vor allem auf die Flächenanteile der Erosionsschutzstreifen innerhalb der Gebiete mit einer großen Erosionsgefährdung zurückzuführen. Hier zeigt sich die große Wirkung der gesetzten Förderkulisse, was zu einer größeren Reduzierung des potenziell vermiedenen Bodenabtrags beiträgt.

Bei den berechneten Bodenabtragswerten ist allerdings zu bedenken, dass die Verweilzeiten der hohen Bodenbedeckung der einzelnen Maßnahmen auf den geförderten Flächen sehr unterschiedlich ausfallen können. Beim Zwischenfruchtanbau beträgt die Verweilzeit nur wenige Monate, welche aus Erosionsschutzsicht allerdings besonders wichtig sind. Allerdings ist danach eine Bestellung mit Sommerungen möglich, welche im Schnitt deutlich höhere C-Faktoren aufweisen und demnach das Risiko für Wassererosion erhöhen. Bei den lagetreuen Grünstreifen besteht die hohe Bodenbedeckung über die Förderlaufzeit unverändert durch die geschlossene Grasnarbe, was das Auftreten der Erosion nahezu vollständig vermeidet. Demnach ist die Wirkung der Erosionsschutz- und Uferrandstreifen als höher einzuschätzen. Bei den Erosionsschutzstreifen ist zudem die erweiterte Schutzwirkung auf die angrenzenden Ackerflächen zu berücksichtigen.

Mit der ABAG wurde ein Bodenabtrag von im Mittel zwischen 0,4 bis 0,7 t/ha*a kalkuliert. Diese Werte unterschreiten auch den für NRW im Jahr 2021 nach Quellen des Thünen-Instituts mittleren Bodenabtrag von ca. 1,7 t/ha*a unter der Prämisse eines C-Faktors auf der Gemeindeebene (Baum et al., 2025). Damit wird die erosionsschonende Wirkung der Maßnahmen nochmal deutlich.

Hinweis zu den genutzten Daten

Bei der Zuordnung der C-Faktoren nach Auerswald et al. (2021) zu den Kulturen der Maßnahmen fand bei mehrjährigen, lagetreuen Förderflächen die Langfristigkeit der Bodenbedeckung von grasnarbenbildenden Kulturen Berücksichtigung, welche aufgrund der positiven Erosionsschutzwirkung auf die Folgekulturen negative Werte annehmen. Um insgesamt negative C-Faktoren zu vermeiden, ist nach Auerswald et al. ein Wert von 0,025 anzunehmen. Zudem erlauben die InVeKoS-Daten keine Auswertung der Nutzcodes für die angebauten Zwischenfrüchte, da nur Hauptkulturen geführt werden. Dies führt in der Summe dazu, dass diese auch nicht in die Bestimmung des C-Faktors für die ABAG-Berechnung mit einfließen. Zudem konnte nicht allen Nutzcodes auch ein entsprechender C_{sum} -Faktor zugewiesen werden, da in der Veröffentlichung von Auerswald et al. (2021) nur für bestimmte Nutzcodes C_{sum} Faktoren vorlagen. Demnach gehen bei den Maßnahmen einige Flächen nicht mit in den C-Faktor der ABAG ein.

Aufgrund der Verschneidung verschiedener Geodaten und auch -quellen für die Kulissen der CC_{Wasser}-Kulisse (Rasterdaten für die CC_{Wasser}0-Kulisse mit E_{nat}0 bis E_{nat}4 aus dem Jahr 2023, Vektordaten für die CC_{Wasser}1- und CC_{Wasser}2-Kulisse mit den Jahren 2020 bis 2022) ist die berücksichtigte Fläche in der Regel geringer als in InVeKoS eigentlich vorhanden. Die Flächenabweichungen betragen zwischen sechs Prozent bei den Uferrandstreifen bis hin zu 18 % bei den BLÜ-Förderflächen. Dies stellt demnach eine Unterschätzung der Erosionsschutzwirkung dar.

Prinzipiell werden bei den Maßnahmen alle Förderflächen berücksichtigt, da sie alle auf Ackerflächen umgesetzt werden. Eine Ausnahme bildet der Ökolandbau, bei dem nur die erosionsrelevanten geförderten Ackerflächen innerhalb NRW berücksichtigt werden.

5.4.1.2 Winderosionsschutz

5.4.1.2.1 Anbau von Zwischenfrüchten

Mit einem Anbau von ZWF und Untersetzen wird bereits im Spätsommer/Herbst und im Winterhalbjahr eine geschlossene Bodenbedeckung erreicht, was nicht nur für den Schutz vor Wassererosion wichtig ist. Werden

zudem eine nichtwendende Bodenbearbeitung oder Direktsaatverfahren vor der Hauptfrucht praktiziert, kann die Wirkung noch erhöht werden. Bei den Untersaaten ist die Erhöhung der Bodenbedeckung besonders bei Kulturen mit großen Reihenabständen zu empfehlen, um den Schutz vor Winderosion sowohl räumlich als auch zeitlich zu erhöhen (Steininger und Wurbs, 2017; Honecker et al., 2022; Helfrich et al., 2024). Hier wurde auch die gesamte Förderfläche als Wirkungsfläche herangezogen.

5.4.1.2.2 Anlage von Blüh- und Schonstreifen

Für den Winderosionsschutz sind vor allem die angelegten Elemente relevant, bei denen die Bodenbedeckung länger als bei der alternativen Bestellung der Ackerflächen besteht. Deswegen sind für den Wirkungsfaktor besonders die mehrjährigen, lagetreuen Blüh- und Schonstreifen bzw. -flächen interessant. Da zu den Anteilen an ein- und mehrjährigen Blüh- und Schonstreifen jedoch keine Daten vorliegen und auch die Zwischenfruchtförderung mit einer vergleichsweise kurzen Bodenbedeckungszeit als relevante Maßnahme eingestuft wird, wurde auch die gesamte BLÜ-Förderfläche für die Winderosionsschutzwirkung herangezogen.

5.4.1.2.3 Uferrand- und Erosionsschutzstreifen

Durch die dauerhafte Bodenbedeckung wird nicht nur die Wassererosion verringert, sondern im gleichen Rahmen auch die Anfälligkeit gegenüber Winderosion. Diese Veränderungen des Anbausystems werden im Kontext des Erosionsschutzes als kurzfristige Maßnahme eingestuft. Bei einer Bodenbedeckung von durchschnittlich über 25 % kann von einem wirksamen Schutz ausgegangen werden. Im Idealfall werden mehrere Grünstreifen quer zur Hauptwindrichtung und parallel zueinander angelegt, im Wechsel von erosionsmindernden und erosionsgefährdeten Kulturen (sogenannten Streifenbewirtschaftung). Somit kann die Flächenheterogenität erhöht werden, wodurch wiederum die Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche reduziert wird, einem zentralen Faktor der Winderosion (Honecker et al., 2022; Steininger und Wurbs, 2017; Duttman et al., 2011). Allerdings ist die Wirkung geringer, wenn die Grünstreifen nur vereinzelt auf den Ackerflächen verteilt und nicht zwingend in der Winderosionskulisse sowie ohne einen idealen Verband mit anderen Kulturen angelegt werden (Steininger und Wurbs, 2017). Der Schutzbereich, welcher dadurch erreicht wurde, entsprach der Förderfläche der Maßnahmen UFE und ERO. Dies ist darin begründet, dass für die Lage im Raum in Bezug auf die Hauptwindrichtung und andere Winderosionsschutzmaßnahmen (z. B. bewusster Streifenanbau erosionsmindernder Kulturen) keine Daten vorliegen, welche die Windschutzwirkung weiter quantifizieren könnten. Es ist davon auszugehen, dass die Streifen jedoch bei guter Platzierung die Wirkfläche erweitern.

5.4.1.2.4 Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen

Die oben aufgeführten sechs ausgewählten Pakete, welche sich positiv auf den Wirkungsfaktor der Erhöhung der Bodenbedeckung auswirken, sind auch gleichzeitig für die Winderosionsschutzwirkung (Verringerung der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche) relevant. Hier gelten dieselben Einschränkungen hinsichtlich der vergleichsweise kurzen Bedeckungszeit und die Orientierung der begrünten Elemente im Raum bzw. in der Winderosionsschutzkulisse. Als Wirkflächen werden hier die Förderflächen der Pakete 5021, 5024, 5025, 5041, 5042 und 5100 angerechnet (siehe vorheriges Kapitel).

5.4.1.2.5 Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken

Für die Winderosionsschutzwirkung sind sowohl die Pflege und der Erhalt als auch die Neuanlage von Hecken in der Winderosionskulisse von Relevanz (Steininger und Wurbs, 2017; Honecker et al., 2022; Gebel et al., 2025). Hecken verhindern, als eine der vielfältigen Ökosystemleistungen, die Winderosion (Drexler et al., 2021; Dürr et al., 2024). Im Erosionsschutzkontext werden Hecken in die Veränderung der Landschaftsstruktur bzw. strömungsphysikalische Maßnahmen oder die landeskulturellen Maßnahmen eingesortiert. So kann Winderosion

verringert werden, wobei auf die Höhe und den Abstand der Reihen untereinander (optimal: 200 bis 300 m) sowie auf die Ausrichtung senkrecht zur Hauptwindrichtung zu achten ist (Duttmann et al., 2011).

Im Rahmen des Vertragsnaturschutzes ist dies das Paket 5400 Pflege von Hecken in vorab festgelegten Förderkulissen. Darunter fällt zum einen die Pflege der Hecken und zum anderen die ggf. notwendigen Nachpflanzungen (Rahmen-RL VNS 2015). Da für die genaue Ausdehnung bzw. Dimensionierung der Hecken auf den Teilschlägen keine weiteren Angaben vorliegen, kann nur die Gesamtfläche der Teilschläge zur Auswertung herangezogen werden (vgl. Kapitel 0).

5.4.1.2.6 Ökolandbau

Die oben in Kapitel 5.4.1.1 beim Abschnitt Wassererosionsschutz aufgeführten Wirkungen des Ökolandbaus gelten auch für den Winderosionsschutz.

5.4.1.2.7 Fazit: Beitrag zum Schutz vor Winderosion

Die sieben betrachteten Maßnahmen wurden entsprechend ihrer Lage in der Winderosionskulisse charakterisiert (vgl. Tabelle 23).

Tabelle 23: Einordnung der geförderten Ackerfläche der Maßnahmen mit prioritärem SPB 4C-Ziel in die Winderosionskulisse

Kulissen		Bezeichnung Erosions-gefährdung	Fläche CC-Kulisse [ha]	Förderfläche in E _{nat} -Kulisse [ha]							Summe [ha]	Anteil an E _{nat} -Kulisse [%]
				ZWF	BLÜ	UFE	ERO	VNS-AL	Obst/Hecken ¹⁾	ÖKO		
CC-Kulisse	E _{nat} -Kulisse		-	17.701	6.027	3.621	56	6.256	76	81.854	-	-
davon	davon											
	E _{nat} 0 bis E _{nat} 4	keine bis hoch	-	17.418	6.022	3.610	56	6.242	76	81.820	-	-
CC _{Wind}	E _{nat} 5	sehr hoch	4.294	283	4	11	0	14	0	34	347	8,1
Auswertungsjahr (InVeKoS)			2022	2020	2021	2020	2020	2022	2020	2022	2022	2022

1) Bei den Hecken des hier betrachteten Pakets 5400 stehen im InVeKoS-Daten nur die geförderten Teilschläge zur Verfügung. Eine genauere Flächenangabe der darauf geförderten Flächen ist nicht möglich.

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS (2020 bis 2022) und Erosionskulissen der Jahre 2020 bis 2022 (Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3).

Da eine Zuweisung zu Abtragsmengen nicht möglich ist (Steininger und Wurbs, 2017), wurde die erreichte Förderfläche der Maßnahmen in der Winderosionskulisse beziffert. Diese umfasste 347 ha bzw. ca. acht Prozent der CC_{Wind}-Kulisse, welche aktiv zur Vermeidung von Winderosion beitrug. Der Zwischenfruchtanbau trug sowohl absolut als auch relativ innerhalb der jeweiligen Maßnahmenfläche (ca. 2 %) am stärksten zur erreichten Kulisse bei, da bei ZWF-Förderung keine Flächengrößenbeschränkungen greifen. Die anderen Maßnahmen wiesen jeweils max. 0,3 Prozent der jeweiligen Förderfläche in der CC_{Wind}-Kulisse auf.

5.4.1.3 Kohlenstoffspeicherung im Boden

5.4.1.3.1 Vielfältige Kulturen im Ackerbau

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 Vorhabenart 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 Fruchfolge erweitert. Die Fruchfolge 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 Fruchfolge (Zwischenfruchtanbau, Deckfrüchte, mehrjährige Kulturen) kann auch 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 mikrobielle Aktivität werden durch eine abwechslungsreiche Fruchfolge erhöht sowie die SOC-Verluste reduziert (Peng et al., 2023; Tiefenbacher et al., 2021). Diversifizierte Fruchfolgen können das Kohlenstoff-Sequestrierungspotenzial im Oberboden (0 bis 20/30 cm) um $216 \pm 117 \text{ kg C/ha}^{\ast}\text{a}$ erhöhen (Tiefenbacher et al., 2021). Dies ist abhängig von der Gestaltung der Fruchfolge und den Sequestierungsraten 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 wurden wie in Kapitel 0 beschrieben, durch die vereinfachte Humusbilanz der Fruchfolge 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 Fruchfolge als konventionelle Betriebe haben. Daher unterscheidet sich die Wirkung der VK-Förderung in Ökobetrieben und konventionellen Betrieben. Dies wird durch die Trennung in unterschiedliche Kapitel und die Angabe der betrachteten Gruppe verdeutlicht.

Die Ergebnisse unterteilen sich in die separaten Auswertungen der Jahre 2015 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 der Betriebe ohne VK-Förderung in beiden Jahren negativer ausfällt (Spalte (1)), wohingegen die Betriebe mit VK-Förderung weniger negative Bilanzen aufzeigen. Dies deutet auf eine stärker humusmehrende Bewirtschaftung hin (vgl. Tabelle 24).

Tabelle 24: Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2015 und 2022, Unterscheidung für Betriebe mit und ohne VK-Förderung

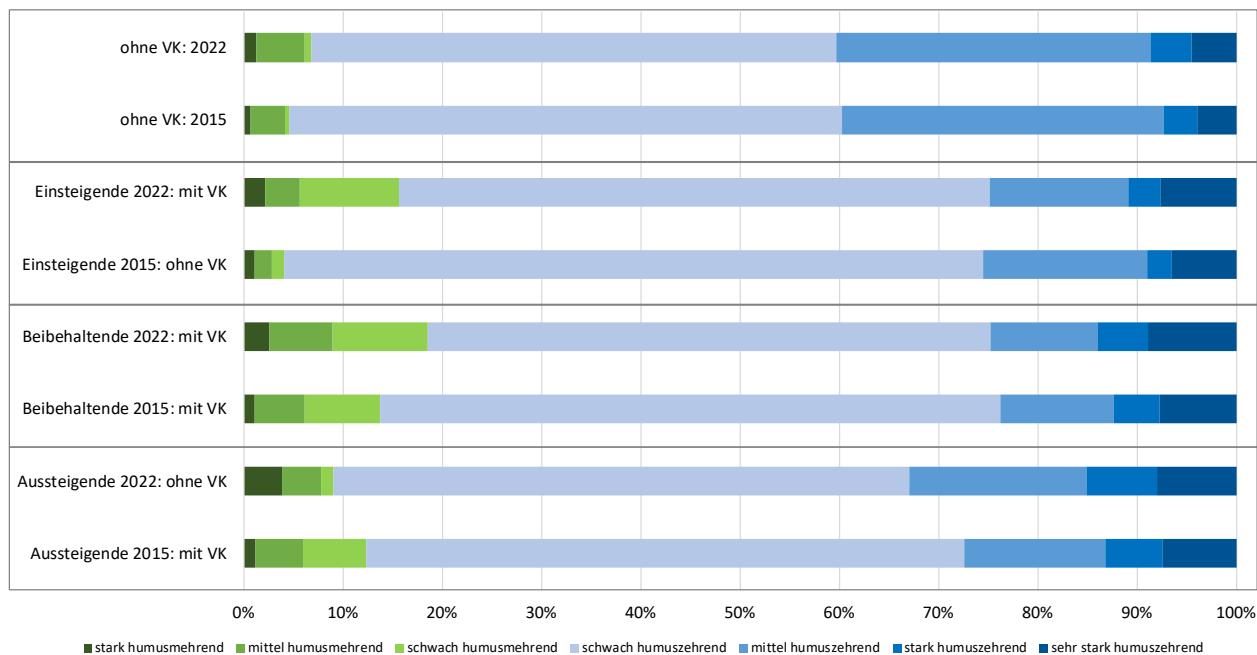
Jahr	Förderung für den Anbau vielfältiger Kulturen im Ackerbau	Anzahl Betriebe	Ackerfläche [ha]	Humusreproduktionsleistung [Häq/ha*a]			
				(1) Summe	(2) Mittelwert	(3) Mittelwert gewichtet	(4) Netto des gewichteten Mittelwertes der Flächen mit VK-Förderung im Vergleich zu Flächen ohne VK-Förderung
				[n]			
2015	ohne	29.295	997.359	-116.478.158	-114,3	-116,8	75,2
	mit	452	45.230	-1.880.847	-26,4	-41,6	
2022	ohne	24.331	823.378	-111.433.778	-96,5	-135,3	132,6
	mit	1.624	187.271	-506.141	15,0	-2,7	

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

Die Mittelwerte der Humusreproduktionsleistung pro Hektar (Spalte (2)) zeigen eine deutlich günstigere Humusbilanz auf den Flächen mit VK-Förderung als ohne. Werden die flächengewichteten Mittelwerte (Spalte (3)) betrachtet, bei denen einzelne Betriebe nicht „durchschlagen“, zeigt sich dieselbe Tendenz mit größeren Differenzen (vgl. Netto-Werte der Betriebe im Vergleich zur Situation ohne VK-Förderung, Spalte (4)). Durch die Integration der Leguminosen in die Fruchtfolge wird der Anteil humusmehrender Kulturen erhöht und in der Theorie der Anbauanteil anderer humuszehender Kulturen dafür vermindert (Weiteres dazu siehe übernächster Abschnitt). 2015 waren die Mittelwerte (Spalte (2), Spalte (3)) der Humusbilanzen der Betriebe mit VK-Förderung jeweils deutlich schlechter als 2022. Im Vergleich zu nicht durch VK geförderten Betrieben resultiert bei den Betrieben mit VK-Förderung (Spalte (4)) eine Festlegung bzw. Einsparung von Kohlenstoff von ca. 132 Humusäquivalenten/ha*a im Jahr 2022. Der Humussaldo von -2,7 Häq/ha*a der VK-Förderflächen (Spalte (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 ohne VK-Förderung liegt mit -116 Häq/ha*a (2015) bzw. -135 Häq/ha*a (2022) auf den Förderflächen ein „niedriger“ Humussaldo vor, was als mittelfristig tolerierbar zu bewerten ist. Hier muss eine ausgeglichene Bilanz angestrebt werden (vgl. Tabelle 3a, VDLUFA, 2014).

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 genauereres Bild, welche Fruchtarten bei den Betrieben mit und ohne VK-Förderung im Fokus standen (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2015 und 2022 aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne VK-Förderung



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der InVeKoS-Daten (2015, 2022).

Die Betriebe ohne VK-Förderung zeigten in den Jahren 2015 und 2022, genauso wie die 2015 in die VK-Förderung einsteigenden Betriebe, die höchsten Flächenanteile humuszehrender Fruchtarten (zwischen 84 und 96 %). Bei einem Einstieg in die VK-Förderung (2015 keine VK-Förderung, VK-2022 Förderung⁸) wurden die Anteile der humuszehrenden Kulturen, wozu v. a. die 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 und zur erhöhten Prämie für Körnerleguminosen sichtbar. Betriebe, welche durchgehend eine VK-Förderung erhielten, wiesen mit 14 bis 19 % die höchsten Anteile humusmehrender Kulturen auf. Bei den aus der VK-Förderung aussteigenden Betrieben, welche 2015 noch VK-Förderung erhielten, 2022 jedoch nicht, hat sich die Humusbilanz 2022 wieder verschlechtert, was vor allem auf die reduzierten Anteile an schwach humusmehrenden Kulturen (Körnerleguminosen) und die gesteigerten Anteile mittel humuszehrender Kulturen (u. a. Mais, Getreide) zurückzuführen ist.

Kombinierte Inanspruchnahme Vielfältige Kulturen und Ökolandbau

Die VK-Förderung war auch für ökologisch wirtschaftende Betriebe mit einem reduzierten Fördersatz zur Beantragung geöffnet (RL AUM 2015). Im Folgenden sind die Ergebnisse aus dem Akzeptanzbericht von Reiter et al. (2024) dargestellt, die den Zusammenhang zwischen der VK-Förderung und der Ökoförderung zeigen, wobei auch auf konventionelle VK-Teilnehmende vergleichend eingegangen wird.

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, sowie Betriebe, die nicht an den Maßnahmen (VK und ÖKO) teilnahmen.

⁸ Es gilt zu berücksichtigen, dass bei der Betrachtung zweier Einzeljahre die Betriebe als einsteigend gelten, wenn sie in dem Stichjahr 2022 eine VK-Förderung erhalten haben, und 2015 keine aufwiesen. Die Zwischenjahre wurden nicht ausgewertet.

44 % des im Rahmen der ÖKO-Förderung erreichten Ackerlandes wurden 2020 zusätzlich durch VK gefördert (12.601 ha, rund 6 % des gesamten VK-AL) (vgl. Tabelle 25). Der Anteil der teilnehmenden Ökobetriebe, die 2020 das erste Mal an der VK-Förderung teilnahmen (Ersteinsteigende), lag bei 5 %.

Tabelle 25: Teilnehmende (ÖKO und konventionell) an Vielfältige Kulturen im Jahr 2020 – Charakterisierung anhand von Betriebskennziffern

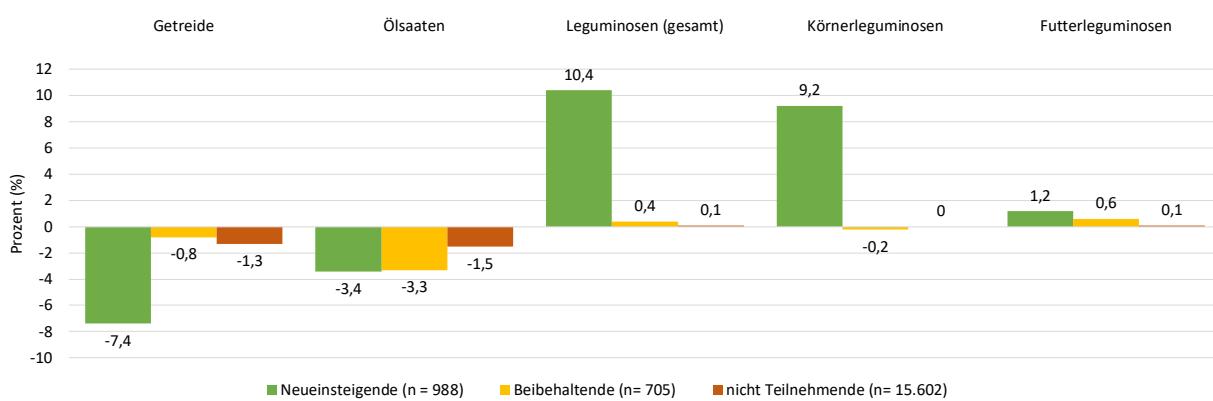
		Betriebsgrößenklasse nach AL (ha)							Gesamt	davon ÖKO	davon konventionell
		< 10	≥ 10 bis < 20	≥ 20 bis < 50	≥ 50 bis < 100	≥ 100 bis < 200	≥ 200				
geförderte Betriebe											
Anzahl Betriebe	n	4	38	393	733	592	166	1.926	183	1.743	
Fläche VK je Betrieb (Ø)	ha	9	15	36	70	132	320	103	69	106	
Fläche VK (Σ)	ha	34	565	14.142	51.526	78.218	53.078	197.564	12.601	184.962	
Landwirtschaftliche Fläche (LF) (Ø)	ha	9	24	51	85	151	366	121	94	124	
Anteile an LF											
davon											
Dauergrünland (Ø)	%	6,6	36,0	26,2	13,8	8,7	4,8	10,7	23,8	9,6	
Ackerland (Ø)	%	93,4	63,5	73,5	86,0	91,1	94,9	89,1	76,0	90,1	

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 sieben Kulturen angebaut. Dies entspricht einem breiteren Anbauspektrum als bei den gesamten nicht teilnehmenden Betrieben (ÖKO und konventionell) mit rund fünf Kulturen.

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

Abbildung 6: Vielfältige Kulturen – Veränderung der Anbauanteile der teilnehmenden und nicht teilnehmenden Ökobetriebe und konventionellen Betrieben von 2016 zu 2020



Quelle: Eigene Berechnungen auf Grundlage der InVeKoS-Daten 2016 und 2020.

Für die untersuchten einsteigenden Ökobetriebe mit VK-Förderung konnte herausgearbeitet werden, dass sie im Vergleich zu den konventionellen Betrieben die Anbauverhältnisse stärker entsprechend den Förderbedingungen und den damit erwünschten Umwelteffekten veränderten. Teilnehmende Ökobetriebe erhöhten auch den Leguminosenanteil, vor allem die Körnerleguminosen wurden um 12 %-Punkte erhöht. Der Getreideanteil wurden im Vergleich zu den konventionellen Betrieben um vier Prozentpunkte stärker reduziert.

Aus dem Vergleich der Kulturartenanzahl und Anbauanteile der Betriebe 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 zielführend, da ein erhöhter Leguminosenanteil auch einen größeren Beitrag zur Humusmehrung leistet. Nur 3 % der nicht teilnehmenden Betriebe (Ökobetriebe und konventionell) hätten die Auflagen per se erfüllen können. Die Verpflichtung zu 10 % Leguminosenanteil an dem Ackerland entfaltete bei den Betrieben die größte Lenkungskraft.

Um die Wirkungen in Bezug auf die Humusspeicherung im Boden zu quantifizieren, wurden auch für Betriebe mit und ohne Kombination mit dem Ökolandbau vereinfachte Humusbilanzen kalkuliert, welche jeweils in den letzten beiden Zeilen in den Jahren dargestellt (**Fettdruck**) sind (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26: Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2015 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
2015	ohne VK, ohne ÖKO	29.295	997.359	-116.478.158	-114,3	-116,8	-
	mit VK, ohne ÖKO	452	45.230	-1.880.847	-26,4	-41,6	75,2
	mit VK, mit ÖKO	85	5.393	747.695	151,7	138,6	255,4
	ohne VK, mit ÖKO	689	13.000	1.289.307	224,0	99,2	216,0
2022	ohne VK, ohne ÖKO	24.331	823.378	-111.433.778	-96,5	-135,3	-
	mit VK, ohne ÖKO	1.624	187.271	-506.141	15,0	-2,7	132,6
	mit VK, mit ÖKO	167	12.177	1.251.148	135,4	102,7	238,1
	ohne VK, mit ÖKO	898	18.950	1.781.186	247,6	94,0	229,3

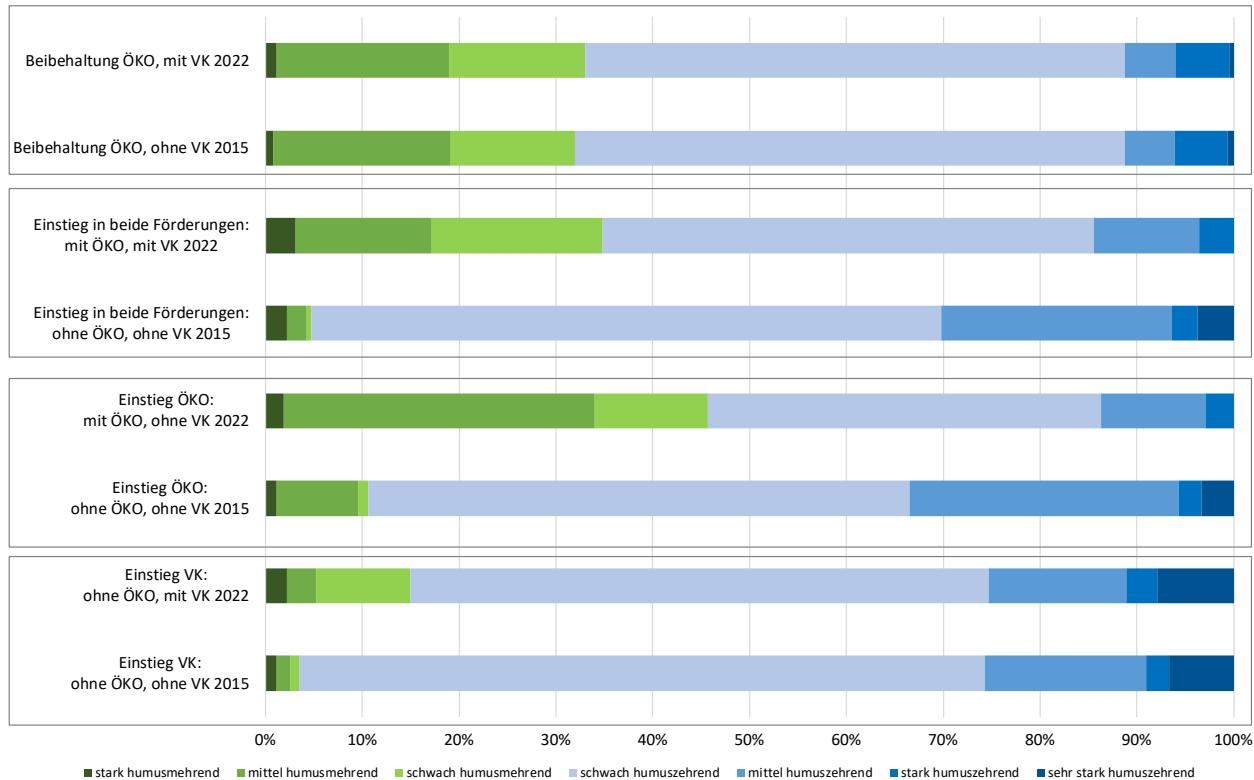
ÖKO = ökologischer Landbau

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

Die besten Humusbilanzen (in Bezug auf die Summe (Spalte (1)) und den Mittelwert (Spalte (2)) zeigen die Ökobetriebe, welche keine VK-Förderung in Anspruch nahmen. Werden jedoch die flächengewichteten Mittelwerte (Spalte (3)) verglichen, verschiebt sich die Aussage. Bei diesem Wert weisen die Betriebe mit einer Kombination von VK- und ÖKO-Förderung leicht bessere Humusbilanzen auf. Im Jahr 2022 wiesen diese in Bezug auf den gewichteten Mittelwert einen Bilanzunterschied (Spalte (4)) von 238 Häq/ha*a gegenüber nicht teilnehmenden konventionellen Betrieben (ohne VK-Förderung, ohne ÖKO) auf. Etwas schlechter war der Bilanzunterschied bei den Betrieben, die nur Ökolandbau betrieben. Sie konnten netto im Schnitt ca. 229 Häq/ha*a gegenüber den nicht teilnehmenden Betrieben erzielen.

Vergleichbare Schlüsse können auch aus den Auswertungen der angebauten Kulturarten gruppiert nach den Humusklassen gezogen werden. Betrachtet wurden die VK-Förderung und der Ökolandbau als DiD-Vergleich der Jahre 2015 und 2022 (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 7: Verteilung der Fruchtarten der betrachteten Betriebe 2015 (vor und nach Einstieg in die VK-Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie ÖKO- und VK-Teilnahme



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der InVeKoS-Daten (2015, 2022).

Die konventionellen Betriebe, welche von 2015 auf 2022 in die VK-Förderung einstiegen (die ersten beiden Balken von unten) und die Betriebe, welche von 2015 auf 2022 auf den Ökolandbau umstellten (Balken drei und vier von unten), zeigen einen deutlichen Anstieg des Anteils humusmehrnder Kulturen zum Jahr 2022. Im Jahr 2022 ist der Anteil mittel humusmehrender Kulturen bei den Betrieben, die auf Ökolandbau umstiegen, deutlich größer (+ 24 %-Punkte) als bei denen, die in die VK-Förderung einstiegen (+ 2 %-Punkte). Der hohe Anteil humusmehrnder Kulturen bei einer Umstellung auf Ökolandbau, wozu Ackergras und Leguminosen-Grasgemenge zählen, ist höchstwahrscheinlich im 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 humusmehrnden Kulturen am stärksten angestiegen ist. Dieser Anstieg ist auch in etwas abgeschwächter Form bei den beibehaltenden Ökobetrieben aufgetreten, welche 2022 eine Förderung für Vielfältige Kulturen erhielten und 2015 nicht (die obersten zwei Balken).

Mitnahmeeffekte liegen basierend auf den Ergebnissen der Akzeptanzbewertung (Reiter et al., 2024) nicht vor, da die zentralen Förderauflagen effektiv Mitnahmen verhindern.

5.4.1.3.2 Anbau von Zwischenfrüchten

Durch den regelmäßigen, langfristigen Anbau von Zwischenfrüchten (ZWF) oder Untersaaten in der Fruchfolge kann Kohlenstoff in den Boden eingespeichert werden. Wenn die ZWF oder Untersaaten eingearbeitet werden, tragen sie zusätzlich zur Hauptfrucht organische Substanz in den Boden ein und zum Humusaufbau bei (Don et al., 2021; Westerschulte, 2024). Dabei ist zu beachten, dass biodiverse Mischungen der Zwischenfrüchte den Reinbeständen bzgl. der Kohlenstoffspeicherung im Boden überlegen sind (Westerschulte, 2024; Guggenberger und Gentsch, 2023). Die Zusammensetzung und die Pflanzenarten der ZWF und Untersaaten bestimmen die ober- und unterirdisch produzierte Biomasse und sind damit zentral für die Humuswirkung. Geeignet sind Arten,

welche humusmehrend wirken und in der Fruchfolge einen Nährstoffeffekt für die Folgekulturen erbringen (Wüstemann et al., 2023). 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).

Im Mittel können bei einem jährlichen Zwischenfruchtanbau mit Gründüngung 0,32 t C_{org}/ha*a bzw. 320 ± 80 kg C/ha*a im Oberboden (0 bis 22 cm) aufgebaut werden, wenn sie langfristig (Untersuchungen: Anbau bis zu 54 Jahre) angebaut werden (Poeplau und Don, 2015). Es wird angenommen, dass das Potenzial von ZWF bei jährlichem Anbau im Oberboden (bis zu 30 cm) von Ackerflächen deutlich größer ist (400 ± 142 kg C_{org}/ha*a), wobei dies jeweils von den angebauten ZWF-Kulturen, der Fruchfolge und den Bodenbedingungen vor Ort abhängig ist (Tiefenbacher et al., 2021; Poeplau und Don, 2015). Bei zwanzig Jahren ZWF-Anbau kann der Kohlenstoffvorrat im Oberboden im Mittel um 8 t C/ha erhöht werden, was einer mittleren Vorratsänderung von 400 kg C_{org}/ha*a entspricht (Poeplau und Don, 2015 zitiert in: Flessa et al., 2018). Bei einem Anbau von ZWF-Mischungen alle vier Jahre kann bei einer Laufzeit von 50 Jahren der durchschnittliche Zuwachs von soil organic carbon (SOC) auf 40 bis 60 kg C_{org}/ha*a gesteigert werden (Helfrich et al., 2024). Der Großteil (65 %) des Kohlenstoffeintrags im Oberboden wird durch die oberirdische Biomasse erzielt. Über alle Ackerflächen in Deutschland hinweg wird mit den aktuellen ZWF der SOC-Vorrat im Schnitt um 0,05 t C/ha*a in zehn Jahren erhöht (Seitz et al., 2022).

5.4.1.3.3 Anlage von Blüh- und Schonstreifen

Im NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022 waren verschiedene ein- und mehrjährige Blüh- und Schonstreifen sowie -flächen enthalten, welche je nach Verweilzeit in unterschiedlichem Umfang zur Erhöhung der Bodenbedeckung und damit auch zur Kohlenstoffspeicherung im Boden beitragen.

Die Zusammensetzung der Bodenbedeckung, d. h. die Wahl der eingesäten Mischung, ist nicht nur für die Biodiversität ein nennenswerter Wirkungsfaktor, sondern ist auch für die Kohlenstoffspeicherung im Boden (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). Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass die Dauer der Wirkung auf die Förderzeit von einjährig bis zu fünfjährig begrenzt ist, da danach die Flächen wieder umgebrochen werden können. Für die Streifen und Flächen werden im Rahmen der Kohlenstoffspeicherungswirkung drei Szenarien aufgestellt, da die Richtlinie sowohl eine einjährige als auch mehrjährige Anlage ermöglicht:

- Szenario 1: Es wird eine einjährige Laufzeit angenommen, da gemäß der Richtlinie die Lage der Streifen auch variieren darf. Hier wird der Wert 550 kg C_{org}/ha*a von Brunotte et al. (2022) übernommen.
- Szenario 2: Für die Hälfte der Förderfläche der Blüh- und Schonstreifen wird eine einjährige und die andere Hälfte eine mehrjährige Laufzeit angenommen. Hier wird für die mehrjährigen Blühstreifen ein Kohlenstoffeintrag von 700 kg C/ha*a herangezogen (Brunotte et al., 2022).
- Szenario 3: Für die Blüh- und Schonstreifen wird vollständig eine mehrjährige Laufzeit angenommen. Die Streifen liegen zu ca. zwei Dritteln im Tiefland und einem Drittel im Bergland, mit der größten Verbreitung in der Münsterländischen Tiefebene (knapp 2.700 ha im Jahr 2022) und im Ostwestfälischen Hügelland (1.165 ha). Es wurde also überwiegend die ackerbaulich genutzte Normallandschaft auf im NRW-Vergleich schlechteren Böden erreicht (Sander und Bathke, 2025). Auf diesen eher ertragsschwachen Standorten bietet sich eine mehrjährige Nutzung als Blüh- und Schonstreifen in den meisten Fällen aus betriebswirtschaftlicher Sicht an, da die vergleichsweise geringen Ertragsverluste (geringeres Ertragspotenzial) mit der Prämie stärker kompensiert werden können.

Nach der Studie von Harbo et al. (2022) konnte bei untersuchten Blühstreifen eine negative Korrelation von Kohlenstoffspeicherungsrate und Pflanzenartenanzahl festgestellt werden. Außerdem konnte eine signifikante, positive Korrelation zwischen den Gräsern und der unterirdischen Biomasse festgestellt werden. Das heißt, ein artenärmerer, von mehrjährigen Gräsern und Kleearten dominierter Blühstreifen weist eine höhere

Kohlenstoffspeicherungsrate auf als artenreiche Blühstreifen. Demnach besteht in Konflikt zwischen der Biodiversität in Form einer großen Artenanzahl mit Blühaspekten auf der einen Seite und der C-Sequestrierung mit (mehrjährigen) Gräsern auf der anderen Seite. Dieses Ergebnis beruht auf Modellierungen, die einen langen Zeithorizont von mindestens 20 Jahren voraussetzen. Nach den Modellierungsergebnissen könnten in den ersten 20 Jahren $0,48 \pm 0,36 \text{ t C}_{\text{org}}/\text{ha}^*\text{a}$ gespeichert werden. Der Mehrwert mehrjähriger Blüh- und Schonstreifen ist, dass sie aufgrund der längeren Standzeit bzw. längeren Biomasseentwicklung einen größeren Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung leisten und z. B. eine höhere SOC-Konzentration im Oberboden bis 30 cm als im angrenzenden Ackerland nachgewiesen werden konnte (Wüstemann et al., 2023; Vaupel et al., 2024).

5.4.1.3.4 Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen

Im Vergleich mit 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 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 $^*\text{a}$ erzielt werden, bzw. liegt Modellierungsergebnissen zufolge in einer Spannweite von 0,4 bis 0,8 t $\text{C}_{\text{org}}/\text{ha}^*\text{a}$ (Wiesmeier et al., 2020; Lugato et al., 2014). Wie im vorherigen Kapitel dargestellt, ist die Wirkung auf die Förderdauer von i. d. R. fünf Jahren begrenzt. Demnach wird, abgeleitet von den Werten aus der VDLUFA für langfristige mehrjährige Begrünung, ein Kohlenstoffeintrag von 600 kg C/ha $^*\text{a}$ herangezogen. Dieser weicht von dem angenommenen konservativen⁹ Wert aus dem Erosionsschutzstreifenbericht (0,3 t $\text{C}_{\text{org}}/\text{ha}^*\text{a}$) ab (Scholz, 2024). In der Auswertung für den vorliegenden Bericht steht die Vergleichbarkeit der Maßnahmen untereinander im Fokus, weshalb die Werte der VDLUFA (und die dahinterstehende einheitliche Methodik) herangezogen wurden. Zudem sorgt eine Erhöhung des organischen Kohlenstoffs im Oberboden für eine erhöhte Aggregatstabilität, was wiederum die Anfälligkeit gegenüber Erosion verringert (Brown et al., 2021).

5.4.1.3.5 Extensive Grünlandnutzung

Teil der AUKM war die Förderung der Extensiven Grünlandnutzung, die neben dem programmierten Wirkungsziel im SPB 4A auch sekundäre Zielsetzungen für das Schutzwert Boden hat. Im Rahmen der betriebszweigbezogenen Maßnahme verpflichten sich die teilnehmenden Betriebe unter anderem, auf ihren gesamten Dauergrünlandflächen auf mineralische Dünger, Pflanzenschutzmittel und den Pflegeumbruch des Dauergrünlandes zu verzichten (RL AUM 2015).

Als Zielgröße der Förderung wurden 80.000 ha festgelegt, von denen 2020 rund 40.200 ha erreicht wurden (InVeKoS-Daten). Das entspricht etwa zehn Prozent des Dauergrünlandes in NRW. Die durchschnittliche Förderfläche der 1.098 teilnehmenden Betrieben lag im Jahr 2020 bei 36,6 ha pro Betrieb. Dabei konzentrierten sich die Förderflächen entlang der südlichen Landesgrenze in den Mittelgebirgsregionen. Weitere Informationen zur Akzeptanz der Maßnahme sind dem Bericht von Reiter et al. (2024) zu entnehmen.

Durch den Verzicht auf Pflegeumbruch, was zur Sicherung der Grasnarbe führt, und mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (hier in Form von Grünland) ist die extensive Grünlandnutzung für die Bodenschutzwirkung in Bezug auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden relevant. Zur konkreten Bestimmung der Menge des dadurch eingespeicherten Kohlenstoffs bzw. der vermiedenen Kohlenstofffreisetzung, wird ein Wert herangezogen, der angibt, wie viel Kohlenstoff beim vorübergehenden Aufbruch der Grasnarbe zur Grünlanderneuerung freigesetzt wird. In der Literatur gibt es trotz derzeitigiger Forschungen keine konkreten Angaben dazu (Thünen Institut für Agrarklimaschutz, 2015). Zur näherungsweisen Berechnung des geschützten

⁹ Im Erosionsschutzstreifenbericht wurde darauf hingewiesen, dass für diese Art der Maßnahme auch höhere Kohlenstoffeintragsraten existieren.

Kohlenstoffs bei einem Verzicht auf Pflegeumbruch wurde deshalb der Wert des freigesetzten Kohlenstoffs beim Umbruch von Grünland zu Ackerland herangezogen und als Worst-Case-Szenario für den Pflegeumbruch betrachtet.

Langfristig kann durch die Umwandlung von Ackerland in Grünland ein mittlerer C_{org} -Aufbau von 0,73 t/ha*a erzielt werden, bzw. liegt Modellierungsergebnissen zur Folge in einer Spannweite von 0,4 bis 0,8 t C_{org} ha*a (Wiesmeier et al., 2020; Lugato et al., 2014). Abgeleitet von den Werten aus der VDLUFA wird für langfristige mehrjährige Begrünung ein Kohlenstoffeintrag von 600 kg C_{org} /ha*a herangezogen. Laut Brunotte et al. (2022) gehen bei dem Umbruch von Dauergrünland, das sich bereits im Gleichgewicht befindet, zu Ackerland im Durchschnitt 60 % des gespeicherten Kohlenstoffs verloren. Das entspricht somit einem Maximalwert von 360 kg C/ha*a. Es ist aber davon auszugehen, dass der reale Wert bei einem Pflegeumbruch etwas geringer ausfällt. Diese Menge an Kohlenstoff bleibt bei einem Verzicht auf den Pflegeumbruch im Boden und wird nicht freigesetzt. Das hat positive Auswirkungen auf den Kohlenstoffvorrat und kann als Beitrag der EXG-Maßnahme zur Kohlenstoffspeicherung gesehen werden. Durch die angegebenen Förderflächen im Jahr 2020 konnte potenziell auf einer Fläche von 40.185 ha eine Menge von über 14.460 t Humus in Form von C_{org} in den Boden erhalten werden (vgl. Tabelle 28).

Von Mitnahmeeffekten ist nur in Einzelfällen auszugehen. Es ist im Gegenteil anzunehmen, dass die Förderung vor allem Einfluss auf die Beibehaltung extensiver Grünlandbewirtschaftungsformen hatte (Reiter et al., 2024).

5.4.1.3.6 Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen

Für die Kohlenstoffspeicherung im Boden kommt beim Vertragsnaturschutz auf Ackerland der Wirkungsfaktor mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln) zum Tragen. Dafür sind die Pakete 5021, 5041, 5042 sowie 5100 und deren Kombinationen relevant (vgl. Kapitel 5.4.1.1, Abschnitt Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen). Die Wirkung zur Kohlenstoffspeicherung im Boden entspricht den oben bereits erläuterten Wirkungen anderer Fördermaßnahmen. Zur Verpflichtung zur Untersaat (Paket 5021) ist die Wirkung des Zwischenfruchtanbaus (320 kg C_{org} /ha*a) anzunehmen (vgl. Kapitel 5.4.1.3.2). Beim Paket 5041 Anlage von Ackerbrachen durch Selbstbegrünung ist der Wert einer einjährigen Ackerbrache mit einem Kohlenstoffeintrag von 130 kg C_{org} /ha*a sinnvoll. Für die Anlage von Blüh- und Schutzstreifen oder -flächen durch Einsaat mit geeignetem Saatgut (Paket 5042) ist die Wirkung nach einjährigen und mehrjährigen Streifen zu differenzieren. Da dazu keine weiteren Informationen vorliegen, wird hier ebenfalls der Szenarienansatz der BLÜ-Förderung angewendet. Für einjährige Streifen wird der Wert von 550 kg C_{org} /ha*a und für mehrjährige Streifen 700 kg C_{org} /ha*a angesetzt. Bei der Umwandlung von Ackerland zu Grünland (Paket 5100) kann aufgrund der Vorgabe, dass diese für die Dauer einer Bewilligungsperiode mit i. d. R. fünf Jahren bleiben muss, 600 kg C_{org} /ha*a angenommen werden. Zulässig sind u. a. Selbstbegrünung und Einsaat mit gebietseigenem Regiosaatgut (Rahmen-RL VNS 2015).

5.4.1.3.7 Vertragsnaturschutz auf Grünland

Für die Bodenschutzwirkung in Bezug auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden sind aufgrund der Förderbestimmungen (Rahmen-RL VNS 2015) nur folgende ausgewählte Pakete des Vertragsnaturschutzes auf Grünland mit den Wirkungsfaktoren Verzicht auf Pflegeumbruch und mehrjähriges Belassen derselben Struktur oder Kultur für den Wirkungspfad Kohlenstoffspeicherung im Boden relevant:

- 5121-5124: Grünlandextensivierung ohne zeitliche Bewirtschaftungseinschränkung (Verzicht auf Pflegeumbruch),
- 5131-5134: Extensive Weidenutzung (Verzicht auf Pflegeumbruch),
- 5151-5163: Extensive Wiesennutzung (Verzicht auf Pflegeumbruch).

Im Rahmen der Teilmaßnahme Vertragsnaturschutz auf Grünland ist in allen Paketen der Verzicht auf einen Pflegeumbruch des Grünlands Förderbestandteil, wodurch die Grasnarbe intakt bleibt. Zur konkreten Bestimmung der Menge des dadurch eingespeicherten Kohlenstoffs bzw. der vermiedenen Kohlenstofffreisetzung, wird ein Wert herangezogen, der angibt, wie viel Kohlenstoff beim vorübergehenden Aufbruch der Grasnarbe zur Grünlanderneuerung freigesetzt wird. Näherungsweise lässt sich die Menge des eingespeicherten Kohlenstoffs mit einem Maximalwert von 360 kg C_{org}/ha*a beschreiben (vgl. Kapitel 5.4.1.3.5). Diese Menge an Kohlenstoff bleibt bei einem Verzicht auf den Pflegeumbruch im Boden und wird nicht freigesetzt. Es ist aber davon auszugehen, dass der reale Wert bei einem Pflegeumbruch etwas geringer ausfällt.

Durch die Förderflächen der ausgewählten Pakete konnte potenziell auf einer Fläche von 21.044 ha eine Menge von über 7.500 t Humus in Form von C_{org} in den Boden eingetragen werden (vgl. Tabelle 28). Das hat positive Auswirkungen auf den Kohlenstoffvorrat und kann als Beitrag der VNS-GL-Maßnahmen zur Kohlenstoffspeicherung gesehen werden.

Aufgrund vergleichsweise hoher Auflagen und verschiedener Einschränkungen sind Mitnahmeeffekte, wie bei allen Vertragsmustern im Rahmen des Vertragsnaturschutzes, nahezu vollständig auszuschließen.

5.4.1.3.8 Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken

Für die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist auch die Teilmaßnahme 10.1.8 mit den beiden bodenschutzrelevanten Vertragsnaturschutzpaketen wichtig:

- 5301: Pflege und Ergänzungspflanzung bestehender Streuobstbestände,
- 5400: Pflege von Hecken in vorab festgelegten Förderkulissen.

Diese zeichnen sich u. a. durch Neupflanzungen von Obstbäumen und Pflege von Hecken aus. Das Neupflanzen von Bäumen ist für den Bodenschutz relevant, da langfristig dadurch Kohlenstoff in den Boden eingetragen wird. Untersuchungen konnten belegen, dass der C_{ges}-Vorrat von Streuobstflächen im Mittel aller Flächen größer ist (+ 8,8 %) als auf Grünlandflächen als Referenz (Wiedermann et al., 2022). Hecken tragen enorm zum Kohlenstoffeintrag im Boden bei, dabei gilt; je länger sie bestehen, desto größer ist auch der Kohlenstoffeintrag (Drexler et al., 2021; Drexler, 2023).

Bei den Hecken sind im InVeKoS nur Informationen zum Teilschlag abgelegt, für wie viele Hektar der Pakete dort Förderungen genehmigt wurden. Wie viel Fläche an Hecken oder wie viele Streuobstbäume dabei neu gepflanzt/ergänzt wurden, dazu sind keine Informationen vorhanden. Demnach ist nur eine pauschale Annahme (900 kg C_{org}/ha*a) als Quantifizierung der Kohlenstoffspeicherung im Boden möglich. Dies stellt jedoch auf der einen Seite tendenziell eine Überschätzung dar, da die Menge an Kohlenstoff nur bei den neu angelegten Elementen wirksam ist. Auf der anderen Seite ist die Pflege der Hecken und Streuobstbeständen essenziell, da sie sonst nicht erhalten bleiben können, was wiederum mit einer Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffs im Boden einherginge (Koordinierungsausschuss Obstwiesenschutz in NRW, o. J.; Kilian et al., 2025; Drexler, 2021; DVL, 1998). Demnach ist der Beitrag der Pflege als indirekt positiv zu werten.

5.4.1.3.9 Ökolandbau

Der Ökolandbau 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 NRW 2022 mit 82.457 ha (InVeKoS-Daten) erreicht, womit der ursprünglich gesetzte Zielwert von 77.000 ha deutlich überschritten wurde (MKULNV, 2015a). Die ökologisch bewirtschaftete Förderfläche umfasste im Jahr 2021 knapp 13 % des im InVeKoS erfassten Grünlandes, knapp 12 % der Dauerkulturfläche und gut 3 % der Ackerfläche in NRW (Reiter 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.

Bewirtschaftungsmaßnahmen, welche sich neben dem Erosionsschutz (siehe Kapitel 5.4.1.1.5 und 5.4.1.2.6) auch positiv auf die Bodenfruchtbarkeit auswirken, wie eine hohe Zufuhr an organischer Substanz/organischer Dünger, diversifizierte Fruchfolge mit mehrjährigen Leguminosen und ständige Bodenbedeckung, werden im Ökolandbau 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 Ökolandbau 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 cm¹⁰) 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 höher als in nichtökologischen 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 Ökolandbau 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, wurden keine Analysen vorgenommen. Der Ökolandbau 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 Fruchfolge aus, inklusive der Integration von Leguminosen und Gründüngungspflanzen. Vielgliedrige Fruchfolgen 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 Fruchfolgen (Tiefenbacher et al., 2021). Besonders wirksam sind diverse Fruchfolgen 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, Gülle und Kompost trägt unabhängig von 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 aufgebrachter 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 hervorheben, 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

¹⁰ Die Untersuchungen unterscheiden sich in ihren analysierten Oberbodenmächtigkeiten, sodass in den folgenden Absätzen verschiedene Bezugsgrößen und Betrachtungsweisen dargestellt sind.

Landwirtschaft gibt. Untersuchte Faktoren waren neben dem Ertrag die Menge der organischen Düngung, der Anbau von Zwischenfrüchten und die Fruchtfolge in Bezug auf den Humusmehranteil. 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).

Quantifizierung der Kohlenstoffspeicherung im Boden

Für den Ökolandbau wurde die vereinfachte Humusbilanz der Fruchtfolge kalkuliert, wie in Kapitel 0 beschrieben, im Vergleich zur Situation ohne Förderung bzw. konventioneller Bewirtschaftung.

Die Ergebnisse unterteilen sich in separate Auswertungen für die Jahre 2015 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 (Spalte (1)) der konventionellen Betriebe negativ und die der ökologischen Betriebe positiv sind (vgl. Tabelle 27). Die humusmehrende Bewirtschaftungsweise mit stärker positiven Humusbilanzen im Ökolandbau, wie im Abschnitt oben erläutert, 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 2021: 6 %) der nordrhein-westfälischen Betriebe ökologisch wirtschaftete. Zum anderen dominierte in den nordrhein-westfälischen Ökobetrieben die Grünlandnutzung (vgl. Bericht von Reiter et al., 2024); demnach wurden viele Ökobetriebe bei der Analyse der Humusbilanzen des Ackerlandes nicht mit einbezogen.

Tabelle 27: Vergleich der Humusreproduktionsleistung für die Jahre 2015 und 2022, Unterscheidung konventionell und ÖKO

Jahr	Bewirtschaftungsart	Anzahl Betriebe [n]	Ackerfläche [ha]	Humusreproduktionsleistung [Häq/ha*a]				(4) Netto des gewichteten Mittelwertes der Flächen mit ÖKO-Förderung im Vergleich zu konventionellen Flächen
				(1) Summe	(2) Mittelwert	(3) Mittelwert gewichtet		
2015	konventionell	29.295	997.359	-116.478.158	-114,3	-116,8	216,0	
	ÖKO	689	13.000	1.289.307	224,0	99,2		
2022	konventionell	24.331	823.378	-111.433.778	-96,5	-135,3	229,3	
	ÖKO	898	18.950	1.781.186	247,6	94,0		

ÖKO = ökologischer Landbau

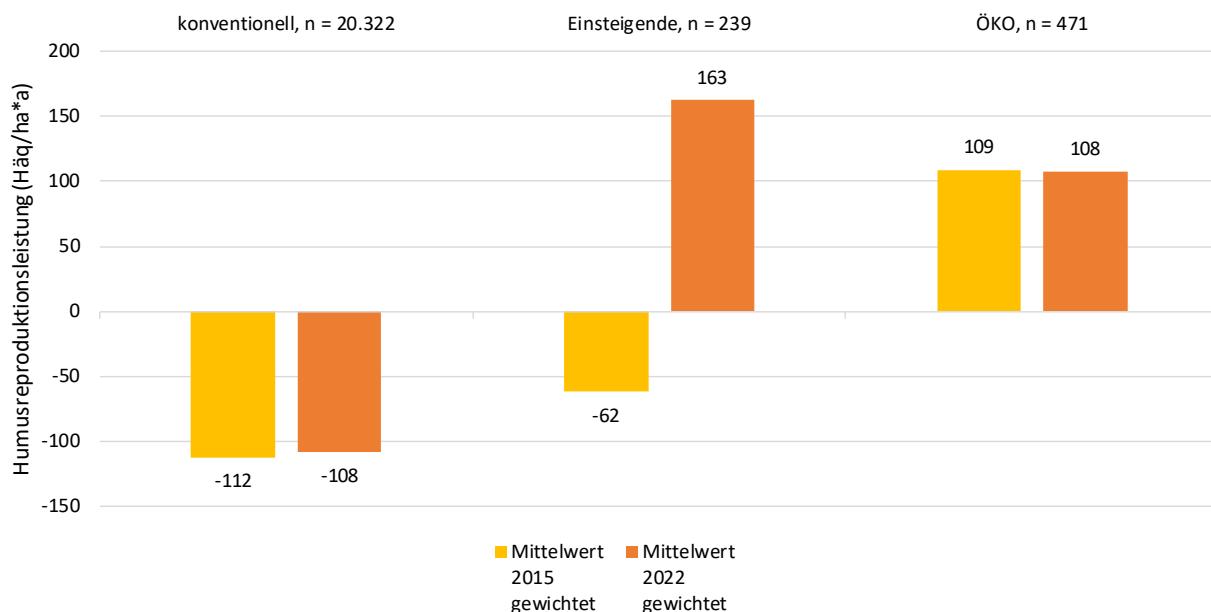
Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage von InVeKoS-Daten (2015, 2022) und VDLUFA-Werten (2014) sowie Werten aus Poeplau und Don (2015) und Kolbe und Zimmer (2015).

Bei den Mittelwerten auf Betriebsebene (Spalte (2)) fällt auf, dass die Humusbilanzen der ökologisch wirtschaftenden Betriebe ebenfalls deutlich positivere Mittelwerte aufweisen als die der konventionellen Betriebe, bei denen die Mittelwerte negativ waren. Ökobetriebe arbeiten generell 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 die flächengewichteten Mittelwerte (Spalte (3)) reduziert wurden. Im Vergleich zur Situation ohne Förderung (Netto des gewichteten Mittelwertes, Spalte (4)) ist mit der ÖKO-Förderung ein Eintrag bzw. eine Einsparung von Kohlenstoff von ca. 229 Humusäquivalenten/ha*a im Jahr 2022 verbunden. Die Humussalden der gewichteten Mittelwerte (Spalte (3)) in den 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 (vgl. Tabelle 3b, VDLUFA, 2014). Bei den konventionellen Betrieben hingegen sind die Humussalden der Spalte (3) basierend auf der VDLUFA Einstufung als „niedrig“ zu bewerten, was mittelfristig tolerierbar ist. Jedoch sollte tendenziell eine ausgeglichene Bilanz angestrebt werden (vgl. Tabelle 3a, VDLUFA, 2014).

Bei der Verknüpfung der InVeKoS-Betriebe von 2015 und 2022, welche dieselbe Betriebsnummer in beiden Jahren hatten, konnten Entwicklungen der gewichteten Mittelwerte 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 2015 und 2022 mit und ohne ÖKO-Förderung



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

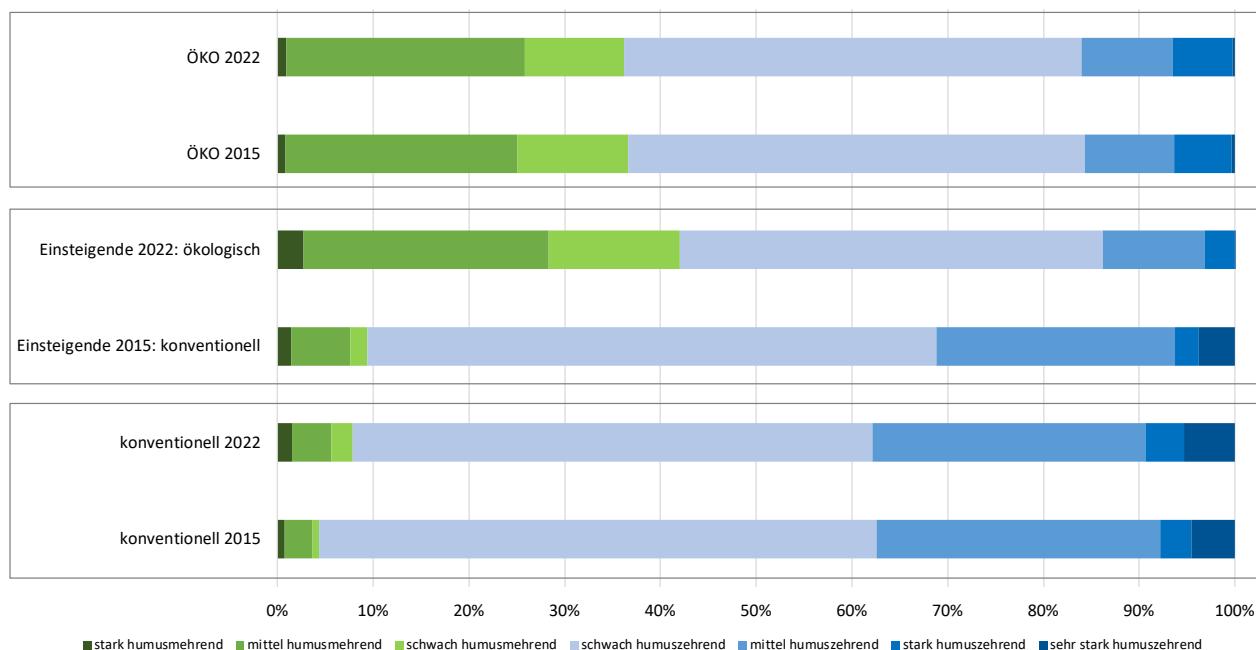
Die Auswertungen unterstützen die Ergebnisse der oben dargestellten Betriebsgruppen. Wie in Tabelle 27 sind die Humusbilanzen bei den Ökobetrieben (beibehaltende Betriebe 2015 und 2022) positiv, was vor allem auf die Integration des Verbleibs der Koppelprodukte auf dem Feld und die damit verbundene humusmehrnde Wirkung zurückzuführen ist. Die konventionellen Betriebe weisen zu den betrachteten Zeitpunkten negative Humusbilanzen auf.

Werden die Betriebe betrachtet, welche in den Ökolandbau eingestiegen sind (2015 keine ÖKO-Förderung und 2022 ÖKO-Förderung) ist ersichtlich, dass bei diesen Betrieben die gewichteten Mittelwerte der vereinfachten Humusbilanz 2015 noch negativ war und sich 2022 sehr stark erhöht hat (+ 225 %-Punkte). Damit war der Effekt der Umstellung auf den Ökolandbau mit der tendenziell stärker humusmehrenden Bewirtschaftung gut zu erkennen. Die bewirtschaftete Ackerfläche ist bei den einsteigenden Ökobetrieben zwischen beiden Jahren stärker angestiegen (plus 9 %) als bei den konventionellen Betrieben (plus 4 %). Die Betriebe, welche den

Ökolandbau beibehielten, unterschieden sich in den beiden Jahren nicht wesentlich, was verdeutlicht, dass die Umstellung der Bewirtschaftung beim Einstieg in der Förderung abläuft.

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 2015 (vor Einstieg in die Förderung) und 2022, aufgeteilt nach Humusgruppen sowie mit und ohne ÖKO



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der InVeKoS-Daten (2015, 2022).

Die konventionellen Betriebe zeichnen sich durch den Anbau größtenteils humuszehrender Kulturen aus (ca. 96 % im Jahr 2015, ca. 92 % im Jahr 2022). Bei den Einstiegenden zeigt sich vor dem Umstieg 2015 ein deutlich größerer Anteil humuszehrender Fruchtarten als im Jahr 2022. Bei dem Einstieg in den Ökolandbau 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 Ökolandbaus entspricht (s. o.). Somit verschob sich der Wert der vereinfachten Humusbilanzsumme (Spalte (2), Tabelle 27) in den Bereich humusmehrend. Die beibehaltenden Ökobetriebe (die obersten zwei Balken) weisen in beiden Jahren ebenfalls einen hohen stabilen Anteil humusmehrender Kulturen auf (37 % im Jahr 2015, 36 % im Jahr 2022).

Mitnahmeeffekte liegen basierend auf den Angaben von Reiter et al. (2024) nicht vor.

5.4.1.3.10 Fazit: Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden

Die Kalkulation der Humusmengen, die durch die Maßnahmen in den Boden eingetragen wurden, sind Tabelle 28 zu entnehmen. Sie setzen sich als berechnetes Ergebnis zusammen aus den wissenschaftlichen Werten aus der Literaturrecherche zum eingetragenen Kohlenstoff oder den Werten der VDLUFA, dem erreichten Output bzw.

der Fläche der Maßnahme zum Förderhöchststand und dem potenziellen eingetragenen bzw. eingespeicherten Kohlenstoff in den Boden.

Tabelle 28: Humusreproduktionswerte der Maßnahmen mit programmierten Bodenschutzziel

Code	Kürzel	Teilmaßnahme	Kohlenstoffeintrag [kg Corg/ha*a]	Quelle	erreichte Fläche [ha] ¹⁾	gespeicherte Menge Kohlenstoff im Boden [t]
10.1.2	ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	320	Poeplau und Don, 2015	26.572	8.503
10.1.3	BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen		Brunotte et al., 2022	6.066	
		Szenario 1 (einjährig)	550		6.066	3.336
		Szenario 2 (50 % einjährig, 50 % mehrjährig)	550/700		6.066	3.791
		Szenario 3 (mehrjährig)	700		6.066	4.246
10.1.4	UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	600	Harbo et al., 2022; Wüstemann et al., 2023; Wiesmeier et al., 2020	3.788	2.273
10.1.5	EXG	Extensive Grünlandnutzung	360 ⁶⁾	Lugato et al., 2014, Wiesmeier et al., 2020	40.185	14.467
10.1.6	VNS-AL	Vertragsnaturschutz auf Ackerflächen ³⁾			4.331 ²⁾	
		Paket 5041 (Brachfläche Selbstbegrünung)	130	VDLUFA, 2014	1.640	213
		Paket 5042 (Blühstreifen-Einsaat)		Brunotte et al., 2022	2.498	
		Szenario 1 (einjährig)	550		2.498	1.374
		Szenario 2 (50 % einjährig, 50 % mehrjährig)	550/700		2.498	1.561
		Szenario 3 (mehrjährig)	700		2.498	1.749
		Paket 5021 (Untersaatbau)	320	Poeplau und Don, 2015	3	1
		Paket 5100 (Umwandlung in extensives Grünland)	600	Lugato et al., 2014, Wiesmeier et al., 2020	190	114
10.1.7	VNS-GL	Vertragsnaturschutz auf Grünland ⁴⁾	360 ⁶⁾	Lugato et al., 2014, Wiesmeier et al., 2020, Brunotte et al., 2022	21.044	7.576
10.1.8	Obst/ Hecken	Vertragsnaturschutz Streuobstwiesen und Hecken ⁵⁾	900	Drexler et al., 2021	838	754
Summe					102.824	38.611
						39.895

1) Wert zeigt den Förderhöchststand (InVeKoS)

2) Gesamte erreichte Fläche der bodenschutzrelevanten Pakete des VNS-AL

3) Nur die Pakete 5021, 5041, 5042, 5100.

4) Nur die bodenschutzrelevanten Pakete 5121-5124, 5131-5134, 5151-5163.

5) Nur die bodenschutzrelevanten Pakete 5301, 5400.

6) näherungsweise (s. Erläuterungen Fließtext)

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten der VDLUFA (2014), (Poeplau und Don, 2015), (Harbo et al., 2022; Wüstemann et al., 2023; Wiesmeier et al., 2020), (Lugato et al., 2014), (Drexler et al., 2021), (Brunotte et al., 2022) und InVeKoS (2020, 2021, 2022).

In der Summe konnte potenziell auf einer Fläche von ca. 102.824 ha eine Menge von bis zu ca. 40.300 t Humus in Form von C_{org} in den Boden eingetragen bzw. bei der Grünlandextensivierung die entsprechende Menge C_{org} vor einer Freisetzung geschützt werden. Die errechneten Werte bilden nicht die Spannweiten oder die statistischen Ungenauigkeiten ab, um konservative Angaben zu tätigen. Bei einigen Maßnahmen sind auch größere Humuswerte erwartbar, da in der Literatur auch höhere Spannen angegeben wurden. Zudem ist die Unsicherheit des Standorts und die Dauer der Maßnahmen zu beachten, die wiederum eine viel größere Wirkung auf den Kohlenstoffeintrag ausübt. Dies ist auch in der Veränderung des Humusvorrats (t/ha) in den Ackerflächen (Oberboden von 0 bis 60 cm) in NRW im Zeitverlauf zu sehen. Während über die Jahre von 2009 bis 2021 der Humusvorrat innerhalb der Großlandschaften konstant blieb, variiert der Humusvorrat zwischen diesen doch erheblich (mittlerer Humusvorrat 0 bis 60 cm: Niederrheinisches Tiefland: 130,9 t/ha und Niederrheinische Bucht: 118,7 t/ha) (LANUK, 2021).

5.4.2 Nichtflächenmaßnahmen

5.4.2.1 Waldumbau

Ziel des Waldumbaus ist es, durch die Etablierung stabiler und standortgerechter Laub- und Mischwälder die Naturnähe der Waldbestände zu erhöhen und sowohl die Standortgerechtigkeit als auch die ökologische Wertigkeit der Bestände zu steigern (Rorig, 2025). Ein Beitrag zum Bewertungskriterium Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald ist vom Waldumbau (M8.51) aufgrund der Baumartenänderung insbesondere durch eine veränderte Durchwurzelung und Streuzusammensetzung zu erwarten. Vor allem der Übergang von Nadelwäldern zu Misch- oder Laubwäldern hat signifikante Auswirkungen auf den Boden, sowohl in physikalischer, chemischer als auch biologischer Hinsicht.

Die Bewertung des Waldumbaus hinsichtlich seiner Wirkung auf das Schutzwertgut 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.

Der geförderte Waldumbau bezieht sich auf Reinbestände und solche mit nicht standortgerechten Baumarten. Die neu geschaffenen Laubbaumkulturen dürfen in NRW höchstens einen Nadelbaumanteil von 35 % bezogen auf die Gesamtpflanzenzahl erreichen (Franz, 2019). Nach den Förderdaten liegt der Nadelholzanteil in der Zielbestockung insgesamt bei nur einem Prozent der Förderfläche (Landesbetrieb WuH, 2024). In der Förderperiode zwischen 2015 und 2023 wurden auf rund 17.000 ha Waldfläche Waldumbaumaßnahmen durchgeführt (vgl. Tabelle 29). Davon fanden auf etwa 9.000 ha Vorbereitungsmaßnahmen für die Bodenschutzkalkulation statt. Für die Programmalaufzeit war ursprünglich für die M8.5 eine zu erreichende Zahl von 7.550 Vorhaben formuliert (MKULNV, 2015a). Dieses Ziel wurde trotz der zweijährigen Verlängerung der Förderperiode später auf 4.302 Vorhaben deutlich nach unten korrigiert (MULNV, 2021c). Gemessen an den ursprünglichen Zielen wurden nur 30 % der angestrebten Vorhaben durchgeführt. Auch das nach unten korrigierte Ziel wurde bis 2022 nicht erreicht (53 % vom Soll).

Die finanzielle Umsetzung der forstlichen Maßnahmen (M8.5) in NRW umfasst die Ausgaben für beendete und teilausgezahlte Vorhaben der Jahre 2015 bis einschließlich 2023. Die zu Beginn der Förderperiode festgelegten indikativen Ausgaben (38 Mio. Euro) wurden trotz der zweijährigen Verlängerung der Förderperiode von 2020 auf 2022 auf 21,6 Mio. Euro nach unten korrigiert (Rorig, 2025; MULNV, 2021c; MKULNV, 2015a). Gemessen an den ursprünglichen Zielen wurden 46 % der geplanten Mittel verausgabt. Auch die nach unten korrigierten Ausgabenziele wurden bis 2022 nicht erreicht (81 % vom Soll) (Rorig, 2025). Eine separate Betrachtung der M8.51 kann auf Grundlage der ausschließlich gemeinsamen Daten nicht erfolgen.

Tabelle 29: IST und SOLL der gesamten M8.5 (2015 bis 2022)

SOLL 2015-2020*		SOLL 2015-2022**		IST 2015-2022		Zielwerterreichung 2015-2022	
Förderfläche [ha]	Anzahl Vorhaben [n]	Förderfläche [ha]	Anzahl Vorhaben [n]	Förderfläche [ha]	Anzahl Vorhaben [n]	Förderfläche [%]	Anzahl Vorhaben [%]
k. A.	7.550	k. A.	4.302	37.923 ¹⁾	2.268 ²⁾	-	53

* Programmversion 1.3 (2015)

** Programmversion 8.0 (2021)

1) davon 19.381 ha Bodenschutzkalkung (M8.52) und 16.986 ha Waldumbau (M8.51)

2) Monitoringwert 2015-2023

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage der Landesdaten (Landesbetrieb WuH, 2024), der Monitoringdaten 2023 (MLV, 2024) sowie Angaben der Programme (Versionen 1.3 und 8.0) (MKULNV, 2015a; MULNV, 2021a).

Der Boden im Laubwald weist in der Regel eine größere Durchwurzelung auf und hat eine höhere biologische Aktivität, die sich positiv auf die Nährstoffverfügbarkeit auswirkt. Laubwälder fördern die Humusanreicherung im Oberboden, was die Stickstoffspeicherung verbessert und damit das Risiko hoher Nitratausträge verringert (Mellert et al., 2007). Zusätzlich sind Laubhölzer in der Lage, Nitrat aufzunehmen sowie Stickstoffverbindungen und andere Nährstoffe im biologischen Kreislauf zu halten (Zirlewagen und Wilpert, 2001). Im Vergleich dazu sind Nadelwälder anfälliger für Bodensäurebildung und höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser, da sie durch die größere Blattoberfläche und die ganzjährige Benadelung Schadstoffe aus der Luft das ganze Jahr über ausfiltern (Hegg et al., 2004).

In Misch- und Laubwäldern ist die Wasserverfügbarkeit tendenziell höher, da Laubbäume im Winter keine Transpiration betreiben (BMEL, 2021b). Zudem weisen Laubwälder geringere Interzeptionsverluste auf, was zu einer erhöhten Sickerwassermenge führt, die Wasserspeicherung im Boden begünstigt und die Bodenqualität aufgrund geringerer Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser verbessert (Hegg et al., 2004).

Ein potenzielles Risiko beim Waldumbau ist jedoch die Veränderung der Nährstoffdynamik, die sich insbesondere auf den Stickstoff- und Wasserhaushalt des Bodens auswirken kann. Durch den Wechsel der Baumarten und die damit einhergehende Veränderung der Streuqualität und Zersetzungsraten kann es zu einer erhöhten Freisetzung von Nährstoffen kommen. Dies kann vorübergehend zu steigenden Nitratkonzentrationen im Bodenwasser führen, insbesondere in Böden mit hoher Stickstoffsättigung oder während Trockenperioden, wenn der Nährstoffaustausch nicht durch pflanzliche Aufnahme reguliert wird (Puhlmann et al., 2021).

Trotz dieser Risiken ist bei einem Umbau zu Laub- und Mischwäldern auf Basis literaturbasiert nachvollzogener Wirkungsketten insgesamt von positiven Auswirkungen auf die Bodenqualität und die Resilienz des Waldes gegenüber Extremereignissen wie Trockenheit auszugehen. Die positive Wirkung des Waldumbaus von Nadelreinbeständen hin zu laubholzreicher Beständen auf die Waldböden wurde auch im Zuge der Auswertungen der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald bestätigt (Wellbrock et al., 2016) und ist bereits in der ersten Umbauphase (Buchenvoranbau nach 33 Jahren) zu beobachten (Makeschin und Augustin, 2006).

Insgesamt ergab die Analyse der von Franz (2019) durchgeführten ZWE-Befragung für Waldumbau geringe Mitnahmeeffekte. Dennoch liegt die Quote der vollständigen Mitnahmeeffekte bei rund 22 % der Vorhaben. Werden die Vorhaben auf die Waldflächen übertragen, entspricht das etwa 3.740 ha Wald. Dieser Wert lässt sich nur näherungsweise bestimmen und beruht auf der vereinfachten, pauschalen Annahme, dass alle Vorhabensflächen gleich groß sind. Die ermittelte Fläche muss bei der Wirksamkeitsanalyse als vollständige Mitnahme abgezogen werden. Demnach ergibt sich für die Förderung eine Waldfläche von 13.250 ha, auf der von einem positiven Einfluss auf den Bodenschutz auszugehen ist.

5.4.2.2 Bodenschutzkalkung

Beiträge zum Bewertungskriterium der Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald sind von der Bodenschutzkalkung aufgrund der Stabilisierung des Nährstoffkreislaufs auf Forstflächen zu erwarten.

Insgesamt wurden in den Jahren 2015 bis 2023 rund 19.380 ha Waldfläche gekalkt (vgl. Tabelle 29) (Rorig, 2025). Eine gesonderte Betrachtung der indikativen Ziele, des Outputs und der Zielwerterreichung der M 8.52 ist auf Grundlage der Daten nicht möglich. Die Angaben der Zielwerterreichung sind der Tabelle 29 und dem entsprechenden Text in Kapitel 0 zu entnehmen.

Die Notwendigkeit von Bodenschutzkalkungen muss standortspezifisch beurteilt werden, insbesondere in Naturschutzgebieten. In NRW wurde dieser Forderung in der Förderrichtlinie dadurch entsprochen, dass Bodenschutzkalkungen nur förderfähig sind, wenn konkrete Ergebnisse einer Bodenanalyse bei der Bewilligung vorgelegt werden und die Maßnahme vom Forstamt als zweckmäßig und unbedenklich eingestuft wird (Franz, 2019). Die Bodenanalysen lagen der Evaluation nicht vor, sodass die Wirkungen der Bodenschutzkalkungen daher nur allgemein beschrieben werden konnten.

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, 2021b). 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 Kreislaufs oder durch erhöhte Stickstoffeinträge (zum Beispiel aufgrund von Luftverschmutzung) kann ein Ungleichgewicht im Boden entstehen. Die Folge ist ein erhöhter Nitrateintrag 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).

Die Einschätzung des Säure-Basen-Status von Waldböden erfolgt üblicherweise anhand von Parametern wie dem pH-Wert, der Basensättigung sowie den austauschbaren Säurekationen. Bei versauerten Böden verringert sich die natürliche Pufferkapazität für Säuren, wenn der pH-Wert abnimmt. Dies führt zu Veränderungen im Pufferbereich der Böden (Jansone et al., 2020). Durch die Bodenschutzkalkung gelangt Stickstoff im oxidierten Zustand als Ammonium in die Waldböden und wird als reduziertes 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 andere Tiere 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 (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 NRW 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 Kalkungeffekt gering ausfallen (Sucker et al., 2009).

Aufgrund der Kalkungen weist das Bodenwasser (Wasser in den Porenräumen des Bodens) erhöhte pH-Werte und eine gesteigerte Säureneutralisationskapazität auf. Nach einer Kalkung 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). Wie schon von Franz (2019) beschrieben, kann „durch Vergleich der ersten Bodenzustandserhebung im Wald (1989-1992) mit der zweiten (2006-2008) der Einfluss der Bodenschutzkalkung auf die Basensättigung geprüft werden. Im Waldzustandsbericht 2012 (MKULNV, 2012) sind die Ergebnisse einer solchen Auswertung für NRW dargestellt. Der pH-Wert im Oberboden gekalkter Flächen ist danach deutlicher gestiegen als der von nicht gekalkten und liegt nun nah am Wert vollständig intakter Böden. Zu übereinstimmenden Ergebnissen kommen auch bundesweite Auswertungen der Bodenzustandserhebungen (Wellbrock et al., 2016; Grüneberg et al., 2017). Die Bodenschutzkalkung begünstigt die Bildung von Mineralbodenhumus und damit die Ausbildung stabiler, ökologisch verträglicher Komplexe zwischen Schwermetallen und Humuspakeln. Aufgrund der teilweise hohen Schwermetallbelastung in NRW ist die Bodenschutzkalkung, insbesondere in Kombination mit ökologischem Waldumbau, auch vor diesem Hintergrund zu empfehlen (MKULNV, 2012)“ (Franz, 2019, S.21).

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 im Bodenwasser. Dieser Prozess führt zu einer Nitratverlagerung im Boden, welche die Speicherkapazität des Bodens übersteigen kann. 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. 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 Humusauflage hat sich der Kohlenstoffvorrat 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 literaturbasiert nachvollzogenen Wirkungsketten ist von einem positiven Effekt der Bodenschutzkalkung auf die Bodenqualität auszugehen. Eine Einschätzung der Wirkung der Bodenschutzkalkung auf den geförderten Flächen ist mangels vorliegender Informationen nicht möglich. Es wird jedoch angenommen, dass noch viele Jahre nach einer Kalkung auf durch Luftsabstoffs stark versauerten Böden der pH-Wert, die Basensättigung und die Nährstoffversorgung der Bäume dort besser sind als auf vergleichbaren ungekalkten Waldstandorten (Gehrmann, 2012). Mitnahmeeffekte spielen für die Bodenschutzkalkung keine Rolle, da sie von der Gesellschaft verursachte Schäden ausgleicht (Franz, 2019).

5.4.2.3 Europäische Innovationspartnerschaften

In der Förderperiode bis 2022 gab es in NRW für die Fördermaßnahme EIP-Agri zwei Calls mit insgesamt 21 geförderten Vorhaben, davon acht im ersten und 13 im zweiten Call (Eberhardt, 2024). Die 21 nordrhein-westfälischen EIP-Vorhaben wurden von der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (DVS), als bundesweiter Informations- und Ansprechpartner für EIP-Projekte, thematisch klassifiziert (DVS, 2024). Für den Bodenschutz sind aus den aufgeführten Themenbereichen mehrere relevant: Ackerbau (5), Boden-/Wasserschutz (8), Bodenfruchtbarkeit und N-Effizienz (4), Leguminosen (1) und Gehölze/Sträucher (0) wobei Mehrfachzuweisungen möglich waren. Bei fünf von diesen EIP-Vorhaben wurde durch ein Screening der Abschlussberichte und/oder Merkblätter ein Bezug zu den konkreten Bewertungskriterien (Wassererosionsschutz, Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden) identifiziert (vgl. Tabelle 30).

Tabelle 30: Merkmale der ausgewählten bodenschutzrelevanten EIP-Agri Vorhaben

Call	Vorhabensnummer	Vorhaben/Projekttitel	Kurztitel	Wirkungsart	Bodenbezogene Wirkungspfade
1	1	Von der ökologischen Winterzwischenfrucht zur feinen Faser	Winterhanf	x	Ein neues Anbauverfahren ermöglicht die Nutzung von Winterhanf, der oftmals als Zwischenfrucht angebaut wird, in der Textilindustrie. Das steigert die Attraktivität des Anbaus von Winterzwischenfrüchten, die den Humusaufbau und die Nitratspeicherung fördern und der Bodenerosion entgegenwirken.
	5	Nährstoffmanagement und langfristig gesicherte Ertragssteigerung in ökologischen Marktfruchtbetrieben mittels einer neuen Öko-Düngesplanung und angepassten Öko-Standard-Bodenproben-Untersuchungen	Öko-Nährstoff-Manager	x	Stickstoffkalkulationsprogramm und Öko-Standard-Bodenprobenpaket ermöglichen es ökologischen Landwirtschaftsbetrieben, die Ackerbaufruchtfolge den im Boden vorhandenen Nährstoffen anzupassen und unter anderem auch die Stickstoff- und Humusentwicklung im Boden bei der Düngesplanung zu berücksichtigen. Damit wird ein potenzieller Nährstoffüberschuss reduziert und die optimale Nährstoffversorgung gewährleistet -> Reduzierung des Düngemittelleinsatzes und Steigerung der Nährstoffversorgung.
2	12	Praxistest, -bewertung und Ansätze zur Weiterentwicklung aktueller Precision-Farming-Saat- und Düngetechnologie für den überbetrieblichen Einsatz in kleinstrukturierten Agrarregionen Nordrhein-Westfalens	Digitale Landwirtschaft in NRW	(x)	Praxistests und Kosten-Nutzen-Analysen sollen die Anwendung von Precision-Farming-Techniken in kleinstrukturierten und intensiv bewirtschafteten Agrarregionen stärken. Pflanzenbauliche Maßnahmen wie das Ausbringen und Düngen können dadurch präzise und standortgenau angewendet werden. Damit wird ein potenzieller Nährstoffüberschuss reduziert und die optimale Nährstoffversorgung gewährleistet -> Reduzierung des Düngemittelleinsatzes und Steigerung der Nährstoffversorgung.
	13	Alternative Phosphordünger (P-Rezyklate) zur Ertragssteigerung von Leguminosen und Getreide im Ökologischen Landbau	Phosphor-Rezyklierung im Ökolog. Landbau	(x)	Im ökologischen Landbau entsteht bei spezialisierten Betrieben häufig ein Phosphordefizit, da gängige Düngemittel nicht verwendet werden können und es wenige Alternativen gibt. Phosphorhaltige Recycling-Dünger, die durch die Rückgewinnung von Phosphor bei der Abwasseraufbereitung entstehen, sollen den Phosphorgehalt im Boden erhöhen und leichter verfügbar machen. Damit wird die optimale Nährstoffversorgung gewährleistet -> Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.
	21	Nachhaltige Fruchtfolgerweiterung durch Sommergetreide in wassersensiblen Gebieten am Beispiel alter Getreidesorten für das Back- und Brauhandwerk	Fruchtfolgerweiterung durch Sommergetreide	(x)	Sommergetreide als Zwischenfrucht in Wasserschutzgebieten und Qualitätsprüfung der Ernte für das Backhandwerk --> Auflockerung der Fruchtfolge --> Stickstoff-Aufnahme und -bindung im Boden --> Stärkung der Bodenfruchtbarkeit.

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

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

Für alle fünf bereits abgeschlossenen Innovationsprojekte wurden ca. 2,48 Mio. Euro bewilligt und 2,43 Mio. Euro abgerufen (Finanzdaten der abgeschlossenen EIP-Agri Projekte von 2016 bis einschließlich April 2024). Thematisch knüpfen die entsprechenden Vorhaben an den Bodenschutz über die Schwerpunkte Bodengesundheit, den Schutz vor Bodenerosion und innovative Bewirtschaftung an. Drei der fünf Vorhaben wirken nicht direkt auf den Bodenschutz, sondern über inhaltlich längere bodenspezifische Wirkungspfade. Folgende Auswirkungen auf den Bodenschutz lassen sich feststellen:

Im Rahmen des EIP-Vorhabens „Winterhanf“ konnte durch ein neu entwickeltes Verfahren zur Nutzung des Winterhanfs in der Textilindustrie die Attraktivität des Anbaus als Winterzwischenfrucht gesteigert (OG Winterhanf, 2021) und in die praktische Landwirtschaft Deutschlands integriert werden (Eberhardt, 2024). Dadurch wird wiederum der Humusaufbau gefördert und die erhöhte Bodenbedeckung wirkt der Erosion entgegen. Das Projekt „Öko-Nährstoff-Manager“ optimiert die Nährstoffversorgung durch die Entwicklung eines Stickstoffkalkulationsprogramms und Öko-Standard-Bodenprobenpaketen, die es den Landwirt:innen ermöglicht, den Düngoplan an das Nährstoffvorkommen anzupassen (OG Öko-Nährstoff-Manager, 2020). Ebenfalls optimierend wirkt sich das Vorhaben „Digitale Landwirtschaft in NRW“ auf die Nährstoffversorgung in kleinstrukturierten und intensiv bewirtschafteten Agrarregionen aus. Precision-Farming ermöglicht das präzise und standortgenaue Ausbringen von beispielsweise Düngemitteln, sodass ein potenzieller Nährstoffüberschuss reduziert wird (Berwinkel-Kottmann et al., 2024). Durch das EIP-Vorhaben konnte die Akzeptanz unter den Landwirt:innen gesteigert werden (Eberhardt, 2024). „Phosphor-Rezyklierung im Ökologischen Landbau“ bietet eine ökologische Alternative zu synthetischen Phosphatdüngern, indem Rezyklat-Phosphor-Dünger aus der Abwasseraufbereitung gewonnen wurde, der die Verfügbarkeit von Phosphat im Boden erhöht (OG P-Rezyklierung, o. J.). Das Projekt trägt zur politischen Auseinandersetzung bezüglich des Einsatzes von Struviten im Ökolandbau bei (Eberhardt, 2024; Hoppenhaus, 2021). Im Rahmen des Projektes „Fruchtfolgeerweiterung durch Sommergetreide“ wurde im Kontext des Wasserschutzes an der Auflockerung der Fruchtfolge durch den Anbau von Sommergetreide für das Back- und Brauereigewerbe geforscht. Der Anbau wirkt sich positiv auf die Stickstoffbindung und -aufnahme aus und stärkt insgesamt die Bodenfruchtbarkeit (OG Fruchtfolgeerweiterung durch Sommergetreide, 2022). Zur Etablierung der Innovation ist der Aufbau eines Akteursnetzwerks notwendig (Eberhardt, 2024).

Die Wirkung der EIP-Agri ist als gering positiv einzustufen. Fünf der 21 Vorhaben setzen an bodenschutzrelevanten Themen an und können damit langfristig einen Beitrag zum verbesserten Bodenschutz leisten. Positive Wirkungen können sich allerdings erst zeigen, wenn sich die Innovationen durchsetzen und in der Praxis breite Anwendung finden. Mitnahmeeffekte sind bei den EIP-Projekten weitgehend auszuschließen.

5.4.2.4 LEADER

LEADER bezieht sich vor allem auf den SPB 6B Förderung der lokalen Entwicklung, hat aber sekundäre Zielsetzungen in allen Schwerpunktbereichen, darunter auch im SPB 4C Bodenschutz. Für den Themenbereich Bodenschutz sind M19.2 und 19.3 mit den darin umgesetzten Projekten von Relevanz.

Das Land NRW hat im Rahmen eines Wettbewerbsverfahrens insgesamt 28 LEADER-Regionen in der Förderperiode 2014 bis 2022 zugelassen und insgesamt 1.209 Projekte bewilligt. Davon sind 1.113 Projekte Teil der M19.2 und 19.3. Im EU-Monitoring wurde kein LEADER-Projekt dem Schwerpunktbereich 4C zugeordnet (MLV, 2025). In einem weiteren Schritt wurden die zur Verfügung gestellten Projektdaten ausgewertet. Mittels eines Screenings wurden der Projekttitel und die Maßnahmenbeschreibungen durch das Thünen-Institut unterschiedlichen Kategorien zugeordnet (Bewilligungsdaten von LEADER-Projekten (M19.2/19.3) 2016 bis 07/2024). Dabei waren Mehrfachzuordnungen möglich. Für den Bodenschutz relevant sind Projekte der Kategorie „Landwirtschaft“ (35 Projekte) und der Kategorie „Landschaftspflege, Kulturlandschaft, Schutzgebiete, Artenschutz, Gewässerschutz, Bachpatenschaften, Boden, Luft, Biodiversität“ (95 Projekte). Trotz dieser Vorsortierung durch die beiden Kategorien bezieht sich die Mehrheit der gefilterten Projekte kaum oder gar nicht

auf den Bodenschutz, sondern befasst sich mit Bildungsangeboten im schulischen und außerschulischen Bereich, der Förderung der Biodiversität im Siedlungsraum oder Maßnahmen zur Tourismusförderung. Diese Projekte werden dementsprechend nicht weiter betrachtet. Bei zwei Projekten kann ein möglicher positiver Einfluss über direkte Wirkungspfade auf den Bodenschutz vermutet werden. Im Rahmen des Projektes „Ressourcen- und Umweltschonung in der Pflanzenproduktion“ der Landwirtschaftskammer NRW wird der Einfluss des Anbaus von Spinat als Winterzwischenfrucht auf die Stickstoff- und Nitratkonzentration untersucht. Ein früher Anbau vor der winterlichen Sickerwasserperiode wirke sich laut Forschungsergebnissen positiv auf die Bodengesundheit aus und verhindere zu hohe Nitratkonzentrationen im Grundwasser (LWK NRW, 2019). Das Projekt „Schaffung naturnaher Wegeränder in der Region Baumberge“, durchgeführt vom Naturschutzzentrum Kreis Coesfeld e. V., fördert die Artenvielfalt an Wegrändern durch ein angepasstes Pflegekonzept. Als Sekundäreffekt besteht das Potenzial, durch bewachsene Randstreifen, der Bodenerosion entgegenzuwirken und bei Beibehaltung auch die Kohlenstoffspeicherung im Boden zu unterstützen (NZ Coesfeld, 2021). Die beiden Projekte wurden mit einer Summe von rund 286.000 Euro finanziert, wobei rund die Hälfte der Fördermittel aus dem EU-Etat stammt.

Projekte mit potenziell negativen Auswirkungen auf den Bodenschutz wurden nicht ausgewertet, da die Wirkungspfade im Regelfall viel unsicherer sind und stark von der lokalen Situation abhängen, die nicht anhand der Informationen aus der Projektdatenbank beurteilt werden kann. Zudem können der Wirkungsgrad und das Ausmaß der entsprechenden Maßnahmen wie die Versiegelung von Bodenfläche im Rahmen von Baumaßnahmen als gering eingestuft werden.

Unter Berücksichtigung der beiden erwähnten Projekte kann es durch die LEADER-Förderprogramme lokal in sehr geringem Maße zu positiven Einflüssen auf den Bodenschutz kommen. Insgesamt ist somit keine relevante Wirkung der LEADER-Projekte auf den Bodenschutz zu erkennen. Vollständige Mitnahmeeffekte liegen bei den Projekten bei 1,9 % (Pollermann, 2025), sind also weitgehend auszuschließen, sodass kein Abzug der von Mitnahmeeffekten betroffenen Vorhaben von der Gesamtwirksamkeit der Fördermaßnahme vorgenommen werden muss. Beispielsweise wurde im Kontext der Schaffung naturnaher Wegeränder zusätzlich explizit erwähnt, dass die Findung der Projektgruppe und die anschließende Umsetzung erst durch die Förderung angestoßen wurden.

5.5 Wirkungen der Maßnahmen ohne programmierte Bodenschutzziele

5.5.1 Flurbereinigung

Gefördert wird die Flurbereinigung gemäß der Förderrichtlinie ILE-Richtlinie NRW (2016) und der Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung ländlicher Wegenetzkonzepte und der ländlichen Bodenordnung nach dem Flurbereinigungsgesetz (MULNV, 2018), womit verschiedene Ausführungskosten der Teilnehmergemeinschaft übernommen werden:

- Förderung für die Herstellung, Änderung, Verlegung oder Beseitigung der gemeinschaftlichen Anlagen (unter anderem auch für Wegebau),
- Dorfentwicklungsmaßnahmen,
- Maßnahmen des Umwelt- und Naturschutzes, der Landschaftspflege sowie des Boden- und Gewässerschutzes (wenn sie im gemeinschaftlichen Interesse liegen),
- Seit 2020 auch Waldflurbereinigungsverfahren in ausgewählten Kreisen.

Zur Abschätzung der Wirkungen wird auf Ergebnisse von Befragungen der Verfahrensbearbeiter:innen in der Flurbereinigungsverwaltung und beteiligter Landwirt:innen sowie auf ergänzende Fallstudien zurückgegriffen, die in der Förderperiode 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 durchgeführt wurden, die auch in der Förderperiode 2014 bis 2022 noch aktiv

waren und in denen ELER-Mittel eingesetzt wurden. Aus der letzten Förderperiode 2007 bis 2013 liegen für 23 geförderte Verfahrensgebiete Befragungsdaten vor. Acht weitere Verfahrensgebiete wurden anhand von Befragungen von Landwirt:innen ausgewertet. Die Bedeutung des Bodenschutzes war in den Jahren von 2007 bis 2015 gering, sowohl in Bezug auf die förderfähigen Kosten (0,5 % der Gesamtkosten) als auch in Bezug auf die Verfahrensanzahl (vier von 87). In nur einem von 23 untersuchten Verfahrensgebieten wurde die Bodenerosion als relevantes Problem eingestuft. Für den Bodenschutz relevant sind Grünstreifen mit hoher Bodenbedeckung, wie z. B. Gewässerrandstreifen. Des Weiteren erbringen Umwandlungen von Ackerflächen in extensives Grünland Bodenschutzeffekte, da dort Erosion durch die dauerhafte Bodenbedeckung verhindert und Kohlenstoff langfristig in den Boden eingetragen wird (Bathke und Tietz, 2016). Weitere und aktuellere Informationen zu den eingebrachten Biotopelementen, wie z. B. Gewässerrandstreifen, und Nutzungsänderungen sowie deren Positionen in der Wasser- oder Winderosionskulisse lagen nicht vor, weshalb keine Quantifizierung vorgenommen werden konnte.

In der Förderperiode 2014 bis 2022 konnten zudem zugelieferte Daten des Fachreferats ausgewertet werden (Bathke, 2025 in Vorbereitung). Bis zum Jahresende 2024 wurden 230 laufende Flurbereinigungsverfahren mit insgesamt 107.011 ha Gesamtfläche ermittelt. Der Großteil der Verfahren sind vereinfachte Flurbereinigungsverfahren nach § 86 FlurbG mit 64.334 ha. Regelflurbereinigungsverfahren nach § 1 FlurbG belieben sich auf sechs Verfahren mit 10.433 ha (Bathke, 2025 in Vorbereitung). Nach Angaben des Programms (MKULNV, 2015a) sind Fördermittel von 45,9 Mio. Euro für die ganze Vorhabenart M 4.32 Flurbereinigung vorgesehen. Von 2015 bis 12/2024 wurden 20,7 Mio. öffentliche Mittel eingesetzt. Nach Angaben der Bezirksregierung, Dezernate 33 sind wie in der vergangenen Förderperiode 0,01 % der Finanzen für den Bodenschutz gefördert worden. Der Großteil des Budgets (86,22 %) wurde für den Wegebau eingesetzt.

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). In der Auswertung der ausgewählten 23 Verfahrensgebiete wurden neben den Gewässerrandstreifen auch Hecken/Knicks, Baumreihen/Alleen sowie Feldgehölze als Biotopelemente neu angelegt. Im Schnitt waren dies 12,4 Kilometer linienhafte Strukturen wie Hecken/Knicks und Baumreihen/Alleen (Bathke und Tietz, 2016). Diese wirken sich auch positiv auf den Winderosionsschutz aus, wenn sie quer zur Hauptwindrichtung eingebracht werden und/oder damit die Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche senken (Dürr et al., 2024; Kühne et al., 2018; Da Re et al., 2023).

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 ersetzen 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 zusätzlicher Bodenversiegelung führt. Basierend auf den Angaben der Bezirksregierungen, Dezernate 33 wurden im Rahmen des landwirtschaftlichen Wegebaus 50,6 Kilometer Wege neu gebaut. Der Großteil (36,0 Kilometer) erfolgte hiervon durch zwei Verfahren zur Tagebaurekultivierung. In den übrigen Verfahren überwiegt der Ausbau von Wegen gegenüber dem Neubau. Teilweise werden auch Wege zurückgebaut.

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). Besonders das

Einsäen von Gräsern bewirkt langfristig einen Eintrag von 3,04 t C_{org}/ha*a (Conant et al., 2001). In einigen der ausgewählten Verfahrensgebiete wurden Gewässerrandstreifen als flächenhafte Biotopstrukturen umgesetzt. In der FP 2007 bis 2013 wurden acht bzw. fünf einseitige/zweiseitige Gewässerrandstreifen von 23 ausgewählten Verfahrensgebieten umgesetzt (Bathke und Tietz, 2016). Das stellt die positive Bedeutung dieser Maßnahme für die Kohlenstoffspeicherung im Boden dar. Auch die neu angelegten linienhaften Biotopelemente wie Hecken (s. o.) tragen zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei (Dürr et al., 2024; Flessa et al., 2018; Drexler et al., 2021) (vgl. Kapitel 5.4.1.3.8). Eine genauere Auswertung und Quantifizierung des zusätzlichen Kohlenstoffeintrags in den Boden wurde nicht vorgenommen, da für die FP 2014 bis 2022 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 spielen und die Wirkungen als 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.

5.5.2 Investiver Naturschutz

Entsprechend der RL Investiver Naturschutz-Managementpläne wurden verschiedene Fördergegenstände gefördert: Planungen, Maßnahmen zur Förderung des Umweltbewusstseins, Grunderwerb auch zu Tauschzwecken von z. B. Offenlandflächen und vor allem auch investive Maßnahmen zum Naturschutz. Davon sind aus Bodenschutzsicht die Neuanlage von Streuobstwiesen und die Instandsetzung in Form von Pflegeschnitten von Kopfbäumen relevant. Auswertungen zu diesen beiden Fördergegenständen liegen in dem Bericht von Bathke (2023) vor. Dort wurden Bewilligungsdaten von 2016 bis 2022, Informationen aus Expertengesprächen verschiedener Ebenen sowie Vor-Ort-Besichtigungen von ausgewählten Förderfällen und Gespräche mit Antragsteller:innen ausgewertet.

Basierend auf den Bewilligungsdaten (Stand März 2023) wurden 662 Projekte bewilligt, wofür 24,3 Mio. Euro gebunden wurden. Der Großteil der Vorhaben ist in Natura-2000-Gebieten umgesetzt worden. Die Projekte konnten grob verschiedenen Fördergegenständen zugeordnet werden. 263 Projekte bzw. 14,4 % der Gesamtanzahl hatten die Anlage und Pflege von Streuobstwiesen und Kopfbaumpflege zum Ziel (8,7 % Kopfbaumpflege, 5,7 % Pflege von Streuobstwiesen). Weitere 74 Projekte gehörten zum Fördergegenstand Gehölzpfllege und -pflanzung sowie Anlage von Hecken. Dies entsprach 11,2 % der Gesamtzahl an Projekten (Bathke, 2023).

Die Neuanlage von Streuobstwiesen mit Obstbäumen sowie die Erstinstandsetzung von Altbeständen trägt zum einen zum Winderosionsschutz und zum anderen zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei. Ausführungen zur Wirkweise des Winderosionsschutzes durch die Verringerung der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche sind dem Kapitel 5.4.1.2.5 zu entnehmen. Der Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden durch den Erhalt von alten Kopfbäumen ist vergleichbar mit den Ausführungen im Kapitel 5.4.1.3.8. Ohne den Erhalt durch Instandsetzungsschnitt bzw. Pflegeschnitten bei Altbeständen von Obstbäumen, Hecken und Kopfbäumen sind diese nicht dauerhaft haltbar, da sie auf eine regelmäßige Pflege angewiesen sind (Koordinierungsausschuss Obstwiesenschutz in NRW, o. J.; Kilian et al., 2025; Drexler, 2021; DVL, 1998). Somit trägt die Maßnahme durch den Erhalt auch indirekt zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei, obwohl nur eine Neuanlage von Hecken und Bäumen als zusätzliche Elemente klimawirksam ist (Wüstemann et al., 2023).

Insgesamt ist diese Maßnahmen mit einer hohen positiven Wirkung auf den Bodenschutz durch den potenziellen Beitrag Winderosionsschutz (abhängig von der Lage der eingebrachten Elemente zur Hauptwindrichtung) und die Kohlenstoffspeicherung im Boden zu bewerten. Da keine weiteren genauen Angaben zu den Förderflächen der gesamten relevanten Maßnahmen und Projekte vorliegen, ausschließlich Angaben zu den neu gepflanzten Bäumen, ist keine Quantifizierungen zur Kohlenstoffspeicherung im Boden möglich. Auch die

Winderosionsschutzwirkung kann nicht quantifiziert werden, da keine flächendeckenden Angaben zur Verortung im Raum vorliegen.

Mitnahmeeffekte sind beim investiven Naturschutz ausgeschlossen, da durch die Setzung von Projektauswahlkriterien die Fördermittel sehr fokussiert eingesetzt werden. Zudem sind bei Kopfbäumen heutzutage keine Nutzungsmöglichkeiten für die durch den Schnitt entstehenden Weidenruten vorhanden (wirtschaftliche Notwendigkeit nicht gegeben) und daher Fördermaßnahmen für den Erhalt erforderlich. Bei den Streuobstwiesen ist die Situation ähnlich, da wirtschaftliche Perspektiven zur Vermarktung eröffnet werden müssen, um das Produkt in Wert zu setzen (Bathke, 2023).

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 das NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 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 Flurbereinigung, z. B. durch die Anlage von Hecken zum Winderosionsschutz.

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 Tabelle 9) und/oder wurden nicht gezielt auf für den Erosionsschutz relevante Flächen gelenkt (siehe ZWF und VNS). Für die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist die Lage nicht direkt relevant. Das Potenzial zum Aufbau kann auf allen Ackerflächen und die Speicherung des gebundenen Kohlenstoffs im extensiven Grünland kann überall angerechnet werden. 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 vergleichsweise geringe Neuversiegelung im Zuge der Teilmaßnahme Flurbereinigung (M4.32, ca. 51 Kilometer Wege neu gebaut im Vergleich zu ca. 77 Kilometer Ausbau und Rekultivierung). 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 der synoptischen Zusammenfassung dargestellt (vgl. Tabelle 31, Tabelle 32). Dabei werden die vier Bewertungskriterien „die Teilmaßnahmen tragen zur Kohlenstoffspeicherung von Böden bei“, „die Teilmaßnahmen tragen zu einer Verringerung der bewirtschaftungsbedingten Erosionsgefährdung von Böden bei“ (aufgeteilt in Wasser- und Winderosion), „Veränderungen der Bestockungsverhältnisse mit dem Ziel Stabilisierung und Erhöhung der Naturnähe“ sowie „Auf gekalkten Flächen wird die Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe unterstützt“ herangezogen und in Form der vier Kurzbezeichnungen in den Spaltenköpfen abgekürzt.

Der erste Abschnitt (Tabelle 31) stellt die Maßnahmen mit SPB 4C-Zielsetzung dar; im zweiten Abschnitt (Tabelle 32) sind die Maßnahmen ohne explizite Bodenschutzzielsetzung aufgeführt.

Tabelle 31: Zusammenfassung der Maßnahmen mit programmiertem Bodenschutzziel

Code	Abkürzung	Kurzbezeichnung	Ziel- setzung	Output	Wassererosion				Winderosion				Kohlenstoffspeicherung im Boden				Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald			
					erreichte Fläche in der CC _{Wasser} - Kulisse ³⁾		verminderter Bodenabtrag		erreichte Fläche in der CC _{wind} - Kulisse		gespeicherte Menge an Kohlenstoff im Boden		vereinfachte Humusbilanzierung: Netto Humusäquivalente ²⁾		Stabilisierung der Nährstoff- kreisläufe		Veränderung Bestockungs- verhältnisse		Wirkungs- dauer	Mitnahmen
					[%]	[t/ha*a]	pro Fläche	gesamt	[%]	pro Fläche	gesamt (Summe)	[kg C _{org} /ha*a]	[t C _{org} /a]	[Häq/ha*a]	gesamt (Summe)	[ha]	gekalkte Flächen	neu bestockte Fläche		
mit programmiertem Bodenschutzziel																				
8.51	-	Waldumbau ³⁾	o	32.400 ³⁾ ha	kein Effekt auf den Erosionsschutz vorhanden				kein Effekt vorhanden	kein Effekt auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden vorhanden				kein Effekt vorhanden	13.250	dh	gering			
8.52	-	Bodenschutzkalkung ³⁾	o												19.381	dh	keine			
10.1.1	VK	Vielfältige Kulturen ⁴⁾	x	198.406 ha	kein Effekt auf den Erosionsschutz vorhanden				kein Effekt vorhanden	110.928	133	110.927.638					be	keine		
10.1.2	ZWF	Zwischenfrüchte ⁵⁾	x	17.890 ha	0,2	1,5	3,5	24.745	57.279	6,6	320	8.503					be	keine		
10.1.3	BLÜ	Blüh-/Schonstreifen ⁶⁾ - Szenario 1 (einjährig) - Szenario 3 (mehrjährig)	x	6.066 ha	1,4	6,9	10,6	34.435	52.545	0,1	550	3.336					be	keine		
10.1.4	UFE/ERO	Uferrand-/Erosionsschutzstreifen ⁷⁾ Uferrandstreifen Erosionsschutzstreifen	x	3.788 ha	0,3	4,1	7,5	13.943	25.778	0,3	700	4.246					be	keine		
				3.621 ha	0,1	19,9	26,8	1.055	1.391	0,0	600	2.273								
10.1.5	EXG	Grünlandextensivierung ⁸⁾	x	40.185 ha	kein Effekt auf den Erosionsschutz vorhanden				kein Effekt vorhanden	360	14.467						be	keine		
10.1.6	VNS-AL	Vertragsnaturschutz Acker	x	12.126 ha	1,1	6,2	10,8	34.275	60.002	0,3	550	1.374					be	keine		
				6.235 ha						0,0	700	1.749								
10.1.7	VNS-GL	Vertragsnaturschutz Grünland	x	32.411 ha	kein Effekt auf den Erosionsschutz vorhanden				kein Effekt vorhanden	360	7.576						be	keine		
				21.044 ha						0,0	900	754								
10.1.8	Obst/ Hecken	Streuobst/Hecken	x	1.347 ha	kein Effekt auf den Wassererosionsschutz vorhanden				kein Effekt vorhanden	360	7.576						dh	keine		
				838 ha						0,0	900	754								
11.1/11.2	ÖKO	Ökolandbau ¹¹⁾ davon geförderte Ackerflächen	P	82.457 ha	11,7	8,8	13,0	242.630	359.757	0,8	113.215	229	113.214.964					be	keine	
16.1/2	EIP	Europäische Innovationspartnerschaften ¹²⁾	x	21 Gruppen	n.q.				n.q.	n.q.							dh	keine		
				5 Gruppen																
19.2/19.3	LEADER	LEADER ¹²⁾	x	28 Gruppen	n.q.				n.q.	n.q.				375.111			dh	keine		
					14,8	47,4	72,2	351.082	556.752	8,1	376.395	600	336.827.528		19.381	13.250				
Summe					Minimalwert (Szenarien 1 BLÜ, VNSL-AL 5042)															
Summe					Maximalwert (Szenarien 3 BLÜ, VNS-AL 5042)															

Zielsetzungen: P = prioritär, x = sekundär, o = ohne Ziel, mit dem Fachratrefat vereinbarte Untersuchung bei erwarteter Wirkung

= kein Eintrag

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

n.q. = nicht quantifiziert

1) CC_{Wasser} 1 bzw. F_{natu}5 und CC_{Wasser} 2 bzw. F_{natu}1 bis F_{natu}22) In Bezug auf die Situation ohne Förderung. Die Häg werden zur Vergleichbarkeit mit den anderen Maßnahmen in t C_{org}/ha*a umgerechnet.

3) Auf Basis der Förderdaten des Landes (Landesbetrieb WUH) 2015-2023. Beim Waldumbau (8.51) sind die 22 % vollständigen Mitnahmeeffekte bereits abgezogen.

4) Die Outputangaben stellen das Jahr 2020 (Förderhöchststand) dar. Bei der Kohlenstoffspeicherung im Boden sind in der ersten Zeile die konventionellen Betriebe und in der zweiten Zeile die ökologischen Betriebe aufgeführt.

5) Die Outputangaben sind für das Jahr 2020 (Förderhöchststand) dargestellt.

6) Die Outputangaben sind für das Jahr 2021 (Förderhöchststand) dargestellt.

7) Die Outputangaben für die Kohlenstoffspeicherung im Boden sind für das Jahr 2021 dargestellt (Förderhöchststand). Bei der Erosionschutzwirkung wurde aufgrund der Vergleichbarkeit mit dem Erosionsschutzstreifenbericht das Jahr 2020 verwendet (Abweichung von 76 ha). Der Anteil der Erosionsschutzstreifen an der CC_{Wasser}-Kulisse beträgt mit der erweiterten Wirkfläche 0,5 %.

8) Die Outputangaben stellen das Jahr 2020 (Förderhöchststand) dar.

9) Die Outputangaben stellen das Jahr 2022 (Förderhöchststand) dar. Nur die Pakete 5021, 5024, 5025, 5041, 5042, 5100.

10) Die Outputangaben stellen das Jahr 2022 (Förderhöchststand) dar. Nur die Pakete 5121-5124, 5131-5134, 5151-5163.

11) Die Outputangaben stellen das Jahr 2022 (Förderhöchststand) dar. Beim VNS-Hecken/Obst sind es nur die Pakete 5301, 5400.

12) Monitoring für das Jahr 2023.

Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf InVeKoS-Daten (2015 bis 2022), VDLUFA (2014), Poeplau und Don (2015), Harbo et al. (2022), Wüstemann et al. (2023), Wiesmeier et al. (2020), Lugato et al. (2014), Drexler et al. (2021), Brunotte et al. (2022), EPLR-Programm (MKULNV, 2015a), Erosionskulissen verschiedener Jahre (Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3) (CC_{Wasser}1 und CC_{Wasser}2, 2020 bis 2022) sowie Geologischer Dienst NRW (2023, CC_{Wasser}0) und Angaben der Verwaltungsbehörde und Fachreferate sowie vereinzelt Monitoringdaten (2023)

Tabelle 32: Zusammenfassung der Maßnahmen ohne programmiertes Bodenschutzziel

Code	Abkürzung	Kurzbezeichnung	Ziel-setzung	Output	Wassererosion				Winderosion				Kohlenstoffspeicherung im Boden				Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald			
					erreichte Fläche in der CC _{Wasser} -Kulisse ¹⁾		vermiedener Bodenabtrag		erreichte Fläche in der CC _{Wind} -Kulisse		gespeicherte Menge an Kohlenstoff im Boden		vereinfachte Humusbilanzierung:		Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe		Veränderung Bestockungsverhältnisse		Wirkungs-dauer	Mitnahmen
					Minimum	Maximum	pro Fläche	gesamt	Minimum	Maximum	pro Fläche	gesamt (Summe)	Netto Humusäquivalente ²⁾	gesamt (Summe)	gekalkte Flächen	neu bestockte Fläche				
					[%]		[t/ha*a]	[t/a]	[%]		[kg C _{org} /ha*a]	[t C _{org} /a]	[Häq/ha*a]	[Häq/a]	[ha]	[ha]				
ohne programmiertes Bodenschutzziel																				
4.32	-	Neuordnung ländl. Grundbesitzes /Flurbereinigung ^{3), 4)}	/	2.400	Vorhaben	n.q.			n.q.				n.q.			kein Effekt auf die Veränderung der Bestockungsverhältnisse vorhanden	dh	keine		
7.6	-	Investiver Naturschutz ³⁾	/	520	Vorhaben	n.q.			n.q.				n.q.				dh	keine		

Zielsetzungen: Ø = ohne Ziel, im Feinkonzept vereinbarte Untersuchung bei erwarteter Wirkung, / = ohne Bodenschutzziel aber mit potenziellen positiven/negativen Wirkungen

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} 5.1 bis E_{nat} 5.2

2) In Bezug auf die Situation ohne Förderung

3) Monitoring für das Jahr 2023.

4) Mit den TM 4.1, 4.3 und 4.4. zusammen.

Quelle: Eigene Zusammenstellung basierend auf Monitoringdaten (2023).

Zusammenfassung der Wirkungen nach Bewertungskriterien

Im Rahmen der Wirkung des Programms zur **Senkung des Bodenabtrags durch Wassererosion** wurden 14,8 % der **Wassererosionskulisse CC_{Wasser1} und CC_{Wasser2}** durch die bodenschutzrelevanten Maßnahmen erreicht.¹¹ Der Ökolandbau nimmt davon mit Abstand den größten Anteil ein. Das zeigt das große und bisher tendenziell wenig genutzte 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 Bodenabtragsgleichung (ABAG) vergleichsweise niedrig hält.

Der potenzielle **Bodenabtrag, der insgesamt durch das Programm vermieden wurde**, beläuft sich auf jährlich mindestens 351.082 t und maximal 556.752 t in den Jahren des jeweiligen Förderhöchststandes, wovon der Großteil auf sehr stark von Wassererosion bedrohten Flächen vermieden wurde. Über alle geförderten Maßnahmen hinweg wurden in der Summe zwischen ca. 47 t und ca. 72 t Bodenmaterial pro Hektar und Jahr vermieden. Im Mittel waren dies jährlich zwischen 6,0 t und 9,6 t vermiedener Abtrag pro Hektar Förderfläche. Hingegen betrugen die mittleren Abtragsraten pro Hektar über alle Maßnahmen zwischen 0,4 und 0,7 Tonnen pro Hektar und Jahr. Ohne die Maßnahmen (E_{nat}) läge der Abtrag mit 6,5 bis 10,3 Tonnen pro Hektar und Jahr bedeutend höher.

Insgesamt konnte durch die bodenschutzrelevanten Ackermaßnahmen ein Anteil von ca. 8 % der **Winderosionskulisse** erreicht werden. Der größte Anteil innerhalb der Winderosionskulisse wurde durch den Zwischenfruchtanbau (6,6 %) erreicht.

Das Programm leistete einen potenziellen Beitrag zur **Kohlenstoffspeicherung im Boden** im Umfang von in der Summe rund 375.111 t C_{org}/a für die jeweils betrachteten Jahre, wenn für die BLÜ-Förderung und die VNS-AL jeweils einjährige Blühstreifen in den Szenarien angenommen werden. Unter Annahme mehrjähriger Blühstreifen ist der Kohlenstoffeintrag in den Boden um knapp 1.300 t C_{org}/a höher. Der größte Teil dieser Wirkung entfiel auf den Ökolandbau als Einzelmaßnahme (ca. 113.200 t C_{org}/a). Ungefähr das Doppelte erreicht der Anbau vielfältiger Kulturen unter Berücksichtigung der Betriebe mit einer Kombination des Ökolandbaus (ca. 223.600 t C_{org}/a). Durch die VK und ÖKO-Förderung wurde im Vergleich zu den Betrieben ohne VK-Förderung bzw. mit konventioneller Bewirtschaftung mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert, was sich jeweils in einer besseren Humusbilanz zeigte.

Für den Waldumbau wurde abzüglich der vollständigen Mitnahmen eine Fläche von 13.250 ha zu einer **Veränderung der Bestockungsverhältnisse mit dem Ziel Stabilisierung und Erhöhung der Naturnähe** angerechnet. Aufgrund der Baumartenänderung insbesondere durch eine veränderte Durchwurzelung und Streuzusammensetzung sind für diese Maßnahme positive Wirkungen auch für den Bodenschutz zu erwarten. Vor allem der Übergang von Nadelwäldern zu Misch- oder Laubwäldern hat signifikante Auswirkungen auf den Boden, sowohl in physikalischer, chemischer als auch biologischer Hinsicht.

Die Bodenschutzkalkung kann langfristig auf rund 19.300 ha zu einer **Stabilisierung der Nährstoffkreisläufe** beitragen. Dies lässt sich über die aus der Literatur belegten Wirkungsketten belegen: Das Einbringen von Pufferverbindungen, insbesondere von Kalkstein, sorgt langfristig für eine Regeneration der versauerten Waldböden.

Die **investiven Maßnahmen** (Flurbereinigung, Investiver Naturschutz, LEADER) und **Europäische Innovationspartnerschaften** hatten insgesamt eine gering positive Wirkung auf die betrachteten Bewertungskriterien im landwirtschaftlichen Raum. Mit dem Einbringen neuer Biotopelemente (Gewässerrandstreifen, Hecken/Knicks, Baumreihen/Alleen, Streuobstbäume) im Rahmen der Flurbereinigung und dem Investiven Naturschutz sind Vorteile für die Erosionsvorsorge (Wasser und Wind) und bei Neuanlage

¹¹ Unter Berücksichtigung der erweiterten Wirkfläche der Erosionsschutzstreifen erhöht sich der Anteil auf 15,2 %.

ein Eintrag von Kohlenstoff in den Boden verbunden. Bei LEADER wurden von den Gruppen keine Prioritäten auf den Bodenschutz gelegt, jedoch gab es trotzdem zwei Projekte mit direkten positiven Wirkungen auf den Bodenschutz, wobei diese im Vergleich zur Gesamtanzahl nur eine geringe Wirkung entfalten. Die Flurbereinigung (Einbringen von Biotopelementen) und der Investive Naturschutz (Anlage und Pflege von Streuobstwiesen und Kopfbaumpflege) hatten ebenfalls geringe positive Wirkungen. Bei der Flurbereinigung kann der Erosionsschutz verbessert werden, wenn in dem geförderten Gebiet ein entsprechendes Problem bzw. ein Potenzial zur Verbesserung besteht. Bei der EIP-Förderung sind es lange und z. T. indirekte Wirkungsketten der Verfahren, Vorhaben und Projekte, welche dann eine Bodenschutzwirkung entfalten können.

Wirksamkeit

Die Wirksamkeit bezeichnet die Wirkung der umgesetzten Maßnahmen zu den gesetzten Zielen. Dabei sind aus programmatischer 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 mit SPB 4C programmierten Maßnahmen und deren Wirkungen (Wasser- und Winderosionsschutz, Kohlenstoffspeicherung im Boden) erreicht wurden. Das Monitoring gibt für den Indikator einen Wert von 349.976 ha an. Dies entspricht 2020 einem Anteil von 23,92 % der landwirtschaftlichen Fläche in NRW (MULNV, 2021b). Um den Ergebnisindikator einzuordnen, sieht der EPLR den entsprechenden Zielindikator T12, mit einem Wert von 315.000 ha landwirtschaftlicher Fläche, vor. Diese Fläche entspricht 21,53 % der landwirtschaftlichen Fläche in NRW (MULNV, 2021a). Das bedeutet, dass der zum Ergebnisindikator gehörende Zielindikator mit den geförderten landwirtschaftlichen Flächen (gemäß Monitoringdaten) erreicht wurde (vgl. Tabelle 33).

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 31 einen ähnlichen Flächenumfang. Hierbei wurden alle Ackerflächen und Grünlandflächen der relevanten AUKM und des Ökolandbaus¹² zusammengezogen.

Tabelle 33: Übersicht der Programmwicklung auf den bodenschutzrelevanten Ergebnisindikator

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	349.976	ha	2020	315.000 ha landwirtschaftliche Fläche 21,53 % der landwirtschaftlichen Fläche	111

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten aus dem Monitoring (MULNV, 2021b) und dem EPLR (MULNV, 2021a).

R11: Prozentsatz der forstwirtschaftlichen Fläche, für die Verwaltungsverträge zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung und/oder Verhinderung von Bodenerosion gelten. Für diesen Ergebnisindikator können der Waldumbau und die Bodenschutzkalkulation herangezogen werden, auch wenn sie keine Maßnahmen mit programmiertem Bodenschutzziel sind. Das Monitoring berichtet diesen Indikator nicht. Werden die Förderdaten des Landes für 2015 bis 2023 zur Auswertung herangezogen sind 32.631 ha Waldflächen gekalkt und neu bestockt worden. Dies entspricht einem Prozentsatz von 3,6 % der forstwirtschaftlichen Fläche (MULNV, 2021a). Eine Zielsetzung ist im NRW-Programm Ländlicher Raum für den Zielindikator T13 nicht vorhanden.

¹² Beim Ökolandbau wurden nur die geförderten Ackerflächen mit der Lage innerhalb NRWs herangezogen (2022).

Gesetzliche, quantifizierte nationale Ziele oder Zielwerte für den Boden im Rahmen der Kohlenstoffspeicherung als Sektor oder Emissionspool für NRW waren nicht vorhanden. In Bezug auf die gesetzliche, im Rahmen der EU durch den Green-Deal geforderte Reduzierung der Bodenerosion (EU-KOM, 2020) konnte belegt werden, dass durch das Programm eine Fläche von insgesamt 14,8 % der CC_{Wasser1}- und CC_{Wasser2}-Kulisse erreicht wurde. In Bezug auf die Winderosion wurden 8,1 % der CC_{Wind}-Kulisse durch die Fördermaßnahmen erreicht. Der Beitrag für den Erosionsschutz ist als gering einzustufen. Dies ist darin begründet, dass die AUKM und der Ökolandbau an sich sehr wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Wasser- und Winderosion darstellen, die allerdings eine zu geringe Reichweite erzielen. Für die Ackerflächen der relevanten Maßnahmen konnte jährlich ein Bodenabtrag von minimal 0,35 Mio. t bis maximal 0,56 Mio. t in den betrachteten Jahren 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 alle AUKM mit sekundärem Bodenschutzziel und der Ökolandbau mit prioritärem Bodenschutzziel relevant (Tabelle 34).

Tabelle 34: Übersicht der Programmwicklung auf die bodenschutzrelevanten Wirkungsindikatoren

Nummer	Bezeichnung	Einheit	Kontextindikator (Deutschland)		Wirkungsindikator (NRW)	
			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	0,4	2015, 2020, 2021, 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 1,3 (NRW)	2016	0,4 bis 0,7	
	Estimated agricultural area affected by a certain rate of soil erosion by water (> 11 t/ha/a) ²⁾	1000 ha	301,6	2016	0,0	2020, 2021, 2022
		% of the total agricultural area	1,4 und 1,6 (NRW)	2016	0,0	

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

2) Basierend auf den bewirtschafteten Ackerflächen (AUKM, ÖKO) mit Abträgen über 11 t/ha/a. Bezugsgröße ist die landwirtschaftlich genutzte Fläche von NRW (2022).

Quelle: Eigene Darstellung mit den Werten von EU-COM, 2015, 2018b, 2020; MKULNV, 2015a sowie EU-COM, 2019.

Der Beitrag des Programms zur Kohlenstoffspeicherung im Boden kann anhand des Wertes des ersten C.41 Unterindikators von 620 Megatonnen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalts im Ackerland (Bezugsrahmen Deutschland, 2018) gemessen werden. Dazu wird der gesamte Kohlenstoffeintrag des Programms in Megatonnen (0,4 Mt) umgerechnet. 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 nordrhein-westfälischer Ackerböden verdeutlicht werden. In den meisten NUTS-2-Regionen in NRW liegt der mittlere Vorrat an organischem Kohlenstoff im Ackerland in der Spannweite von 20 bis 30 g/kg (EU-COM, 2018b). Die betrachteten Maßnahmen liefern eine zusätzliche Menge von im Mittel 1,2 t C_{org}/ha und Jahr. Der zweite C.41 Unterindikator kann mit den errechneten Angaben nicht bedient werden.

Der Kontextindikator C.42 Bodenerosion durch Wasser wird in NRW mit einem Wert von 1,3 t/ha/a für das aktuell verfügbare Jahr 2016 angegeben (EU-COM, 2019). Auf den Ackerflächen der relevanten AUKM und des Ökolandbaus wurde ein mittlerer Bodenabtrag von 0,4 bis 0,7 t/ha*a kalkuliert, was deutlich unter dem nordrhein-westfälischen Wert für den ersten C.42 Unterindikator liegt. Für den zweiten Unterindikator von C.42 wird eine Grenze von 11 t/ha/a aufgeführt. In NRW wurde durch die schonende Bewirtschaftung der AUKM und des Ökolandbaus kein Bodenabtrag in dieser Größenordnung kalkuliert. Die mit der ABAG kalkulierten

Bodenabträge der betrachteten Maßnahmen weisen ein Maximum von 1,95 t/ha*a beim Ökolandbau in der CC_{Wasser}1-Klasse auf. Damit tragen die Maßnahmen nicht direkt 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 NRW-Programms ländlicher Raum 2014 bis 2022 befassten Einheiten ermittelt. Die Ergebnisse sind in Grajewski und Becker (2024) dargelegt. Die Wirkungen auf den Bodenschutz (siehe Kapitel 5.4 und 5.5) beziehen sich zum einen auf die Vermeidung von Erosion, sowohl durch Wasser als auch Wind, und zum anderen auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden. Zwei Wirkungsindikatoren werden berechnet (siehe Kapitel 5.7):

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

Die Effizienzbetrachtung erfolgt nur für Maßnahmen, die mit einem expliziten Bodenschutzziel programmiert wurden. Dabei handelt es sich – mit Ausnahme von EIP und LEADER – ausschließlich um Flächenmaßnahmen. Mit nahezu 200.000 Hektar Fläche sind die Vielfältigen Kulturen im Ackerbau die größte Maßnahme, gefolgt vom Ökolandbau. Neben diesen in der Fläche wirksamen Maßnahmen gibt es auch noch sehr spezifische Maßnahmen mit einer hohen Flächenwirkung, aber geringer Reichweite.

6.1 Implementations- und Gesamtkosten

Die Implementationskosten liegen bei den Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel im Mittel bei 16 Euro je Hektar, mit erheblichen Unterschieden zwischen den Maßnahmen (siehe Tabelle 35). Die geringsten Kosten je Hektar Förderfläche weisen die Vielfältigen Kulturen im Ackerbau auf. Auch der Ökolandbau, der Anbau von Zwischenfrüchten und die Extensive Grünlandnutzung weisen vergleichsweise geringe Implementationskosten je Hektar Förderfläche auf. Die Streifenmaßnahmen sind mit deutlich höheren Kosten verbunden, wie auch schon die Implementationskostenanalyse (Grajewski und Becker, 2024) herausgestellt hatte. Der Vertragsnaturschutz weist die höchsten Implementationskosten je Hektar auf. Dies ist auf vielfältige Ursachen zurückzuführen, die in der finanziellen Ausstattung der Maßnahmen, im Maßnahmendesign und Unterschieden in der Aufbau- und Ablauforganisation liegen.

Tabelle 35: Implementations- und Gesamtkosten der Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel

Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	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 im Ackerbau	224.000	22.084.702	198.406 ha	1,1	112
ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	212.000	1.781.281	17.890 ha	11,9	111
BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	319.000	6.931.909	6.066 ha	52,6	1.195
UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	339.000	3.985.984	3.788 ha	89,5	1.142
EXG	Extensive Grünlandnutzung	355.000	5.942.394	40.185 ha	8,8	157
VNS	Vertragsnaturschutz ²⁾	4.494.170	22.847.120	45.884 ha	97,9	596
ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau	404.701	22.440.281	82.457 ha	4,9	277
Gesamt		6.347.871	86.013.671	394.676 ha	16,1	234

1) Wert zeigt den Höchststand (InVeKoS) an und die dazugehörigen jährlichen Mittel gemäß jährlichem Durchführungsbericht.

2) Die Implementationskosten wurden für den Vertragsnaturschutz insgesamt erhoben. Es liegen nur qualitative Einschätzungen für die Unterschiede zwischen den Vorhabenarten vor.

Quelle: Eigene Darstellung nach Grajewski und Becker (2024), Reiter et al. (2024) und MLV (versch. Jg.).

Gesamtbetriebliche und betriebszweigbezogene Maßnahmen sind deutlich günstiger in der Umsetzung, weil sie über ein größeres Budget und größere Flächenumfänge verfügen und zudem sehr standardisiert umgesetzt werden. Skaleneffekte werden wirksam. Zudem werden diese Maßnahmen zentral bewilligt, in enger Abstimmung mit dem Verfahren der ersten Säule der GAP. Die beiden Streifenmaßnahmen weisen geringe Förderumfänge auf; es müssen Teilschläge gebildet werden und die Auflagen sind komplexer. Dadurch sind die hektarbezogenen Implementationskosten auch deutlich höher. Der Vertragsnaturschutz weist ebenfalls ein hohes Auflagenniveau auf und ist sehr individuell gestaltet, in Abhängigkeit von den im Vordergrund stehenden Biodiversitätszielen.¹³ Des Weiteren sind für die Umsetzung die Unteren Naturschutzbehörden zuständig. Die stark dezentralisierte Bewilligungsstruktur trägt weiterhin zu erhöhten Umsetzungskosten bei. Darüber hinaus wurden erst gegen Ende der Förderperiode Verbesserungen im IT-System vorgenommen.

Die Gesamtkosten werden bestimmt von den gewährten Prämien je Hektar, mit denen Kosten und Einkommensverluste ausgeglichen werden sollen. In Abhängigkeit von der Maßnahmenausgestaltung fallen die Prämien sehr unterschiedlich aus (siehe Tabelle 36).

¹³ Der Vertragsnaturschutz zielt vorrangig auf die Biodiversität ab. Laut Sander und Bathke (2025) handelt es um die Maßnahme mit den höchsten Biodiversitätswirkungen. Die Implementationskosten können somit auch als eine Investition in Wirksamkeit interpretiert werden.

Tabelle 36: Prämien der Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel

Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Konventionell	ÖKO	Bemerkung
		[Euro/ha]		
VK	Vielfältige Kulturen im Ackerbau (mit Körnerleguminosen)	90 (125)	65(90)	
ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	97	58	bei Anrechnung als ÖVF 22 Euro/ha
BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	1.200	¹⁾	Abzug von 380 Euro bei ÖVF
UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	1.100	¹⁾	Abzug von 380 Euro bei ÖVF
EXG	Extensive Grünlandnutzung	150		
VNS	Vertragsnaturschutz ²⁾			
	VNS-Acker	765-1.980 ³⁾	²⁾	
	VNS-Grünland	275-980 ³⁾	¹⁾	
	VNS-Streuobst	max.1.045 Euro	¹⁾	
	VNS-Hecke	0,5/0,8 Euro/m ²	¹⁾	
ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau			
	Acker	260		
	Grünland	220		
	Gemüse/Zierpflanzen	400		
	Dauerkulturen/Baumschulen	940		
	Unterglasflächen	3.800		

1) Verpflichtungen/Maßnahmen sind auf der gleichen Fläche kombinierbar, Prämien aber nicht kumulierbar.

2) Verpflichtungen/Maßnahmen sind auf der gleichen Fläche kombinierbar, Prämien sind nur für bestimmte Varianten kumulierbar.

3) In Abhängigkeit von den gewählten Paketen.

Quelle: Eigene Darstellung nach MKULNV (2015b), Rahmen-RL VNS 2015, RL AUM 2015.

Bei allen stärker produktionsintegriert ausgerichteten Maßnahmen fallen die Opportunitätskosten und damit auch die Prämiensätze je Hektar deutlich geringer aus im Vergleich zu den Maßnahmen, bei denen Flächen aus der Produktion genommen werden (Streifenmaßnahmen, verschiedene Vertragsnaturschutzzpakte) oder bei denen deutlich extensiviert wird bzw. die vorherrschende extensive Nutzung beibehalten werden soll. Daher sind die Gesamtkosten je Hektar bei den Streifenmaßnahmen und dem Vertragsnaturschutz am höchsten.

6.2 Vermiedener Bodenabtrag durch Wassererosion

Für fünf Maßnahmen mit Bodenschutzziel konnten Wirkungen auf die Verminderung des Risikos von Bodenabtrag durch Wasser berechnet werden. Auf den Hektar bezogen haben die Erosionsschutzstreifen mit 27 t potenziell vermiedenem Bodenabtrag pro Jahr die größte Wirkung. Der Anbau von Zwischenfrüchten und Uferrandstreifen sind deutlich weniger wirksam auf den Hektar bezogen (siehe Tabelle 31). Ökolandbau, Vertragsnaturschutz Acker und Blüh- und Schonstreifen liegen im Maximum zwischen 11 und 13 t/ha/a (siehe Tabelle 31). Durch die unterschiedliche Reichweite und Inanspruchnahme in den unterschiedlichen CC_{Wasser}-Kulissen ergeben sich die in Tabelle 37 dargestellten Gesamteffekte. Der größte Beitrag kommt vom Ökolandbau, gefolgt vom Vertragsnaturschutz und dem Anbau von Zwischenfrüchten. Die Implementationskosten je Tonne vermiedenem Bodenabtrag sind beim Ökolandbau am geringsten, am höchsten beim Vertragsnaturschutz. Bei den Gesamtkosten schneidet der Ökolandbau am günstigsten ab, knapp gefolgt vom Anbau von Zwischenfrüchten.

Tabelle 37: Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Vermeidung von Wassererosion

Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Implementationskosten 2017 in Euro	Öffentliche Mittel ¹⁾ in Euro	Output ¹⁾	Wassererosion max. vermiedener Bodenabtrag pro Jahr	IK je Tonne vermiedener Bodenabtrag in Euro	Gesamtkosten je Tonne vermiedener Bodenabtrag in Euro
ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	212.000	1.781.281	17.890 ha	57.279 t	3,7	35
BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	319.000	6.931.909	6.066 ha	52.545 t	6,1	138
UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	339.000	3.868.796	3.677 ha	27.169 t	12,5	155
VNS	Vertragsnaturschutz (nur Acker) ²⁾	1.528.018	7.768.021	6.235 ha	60.002 t	25,5	155
ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau (nur Acker)	149.276	9.124.385	30.415 ha	359.757 t	0,4	26
Gesamt		2.547.294	29.474.392	64.283 ha	556.752 t	4,6	58

1) Nur die in die Bewertung eingegangenen Flächen und zugehörigen Kosten (IK und öffentlichen Mittel) wurden berücksichtigt.

2) Die Implementationskosten wurden entsprechend dem Anteil von VNS-Acker an den öffentlichen Mittel berechnet.

Quelle: Eigene Darstellung nach Grajewski und Becker (2024), Reiter et al. (2024) und MLV (versch. Jg.), siehe Tabelle 31.

Brand-Sassen (2004a) hat für verschiedene Maßnahmen des Bodenschutzes in der Landwirtschaft eine ökonomische Bewertung vorgenommen. Neben einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse hat er auch eine Kosten-Nutzen-Analyse vorgenommen, d. h. die Wirksamkeit wurde monetär bewertet. Nach seinen Berechnungen ergibt sich durch die Verhinderung des Verlustes einer Tonne Oberboden ein (einzelbetrieblicher) Nutzen von rund 4,8 Euro je Tonne. Unter Berücksichtigung der gesamten Offsite-Schäden durch Bodenerosion fällt der Nutzen allerdings noch höher aus. So fallen beispielsweise durch Sedimentbeseitigung externe Kosten in Höhe von sieben Euro je Hektar an (Brand-Sassen, 2004a, S. 148).

Würde der einzelbetriebliche Nutzen von 4,8 Euro in heutigen Preisen ausgewiesen, läge er unter Zugrundelegung der Inflation seit 2004 bei 17,8 Euro je Tonne vermiedenem Bodenabtrag. In Relation zu den öffentlichen Mitteln, mit denen die einzelbetrieblichen Kosten und Ertragsverluste ausgeglichen werden sollen, liegt der so berechnete einzelbetriebliche Nutzen bei keiner Maßnahme über den ausgezahlten öffentlichen Mitteln. Besonders groß fallen die Unterschiede bei weniger produktionsintegrierten Maßnahmen (BLÜ, UFE/ERO und VNS) aus. Ausschließlich aus betriebswirtschaftlicher Nutzenperspektive, also der Verhinderung von Onsite-Schäden, dürfte das Interesse an der Inanspruchnahme an den Maßnahmen zum Erosionsschutz gering sein.

Nur die Berücksichtigung von Offsite-Schäden, also beispielweise von Sedimenteinträgen in Gewässer, würde aus einzelbetrieblicher Sicht ein günstigeres Kosten-Nutzen-Verhältnis ergeben. In Teilen spielt dies auch eine Rolle bei der Entscheidung, beispielsweise Erosionsschutzstreifen anzulegen. So wurden als Gründe zur Anlage von Erosionsschutzstreifen auch Bewirtschaftungsvereinfachungen genannt (z. B. das Erfüllen von Abstandsaufgaben an Gewässern (Scholz, 2024, S. 32)).

Bei der Betrachtung ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass die Maßnahmen gleichermaßen auch andere Ziele adressieren bzw. vorrangig, wie beispielsweise Blühstreifen und der Vertragsnaturschutz, auf Biodiversität ausgerichtet sind.

6.3 Kohlenstoffspeicherung im Boden

Von den sieben Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel wird durch die beiden ackerbaulichen Maßnahmen und den Ökolandbau (Acker) der meiste Kohlenstoff im Boden gespeichert. Auf den Hektar Fläche bezogen, sind die Streifenmaßnahmen und einige der bodenschutzrelevanten Pakete des Vertragsnaturschutzes am wirkungsvollsten (siehe Tabelle 31).

Hinsichtlich der Implementationskosten je Tonne gespeicherter Kohlenstoff im Boden schneiden die Vielfältigen Kulturen, der Ökolandbau und die Zwischenfrüchte am besten ab (siehe Tabelle 38). Die Streifenmaßnahmen

verursachen höhere Implementationskosten, ebenso der Vertragsnaturschutz. Die Gründe wurden schon weiter oben diskutiert.

Hinsichtlich der Gesamtkosten schneidet der Ökolandbau am günstigsten ab. Aufgrund der höheren Prämien je Hektar und der höheren IK liegen die Gesamtkosten bei den Streifenmaßnahmen und dem Vertragsnaturschutz deutlich höher. Eine Studie aus Österreich hat die Kosten verschiedener Maßnahmen zur Kohlenstoffspeicherung untersucht (Meyer et al., 2023). In der Rangfolge sind die Kosten mit unseren Ergebnissen vergleichbar. Zum Beispiel gehören die Maßnahmen, die nicht produktionsintegriert erfolgen, sondern keine ackerbauliche Nutzung mehr zulassen, wie Hecken oder Grünbrachen, auch in der österreichischen Studie zu den Maßnahmen mit hohen Kosten je Tonne Kohlenstoff (Meyer et al., 2023, Abbildung 1).

Tabelle 38: Effizienz von Flächenmaßnahmen mit Bodenschutzziel zur Kohlenstoffspeicherung im Boden

Kürzel	Teilmaßnahme/Vorhabenart	Implementationskosten 2017 in Euro	Öffentliche Mittel ¹⁾ in Euro	Output ¹⁾	Kohlenstoff- speicherung im Boden gespeicherte Menge an Kohlenstoff pro Jahr	IK je Tonne gespeicherter Kohlenstoff in Euro	Gesamtkosten je Tonne gespeicherter Kohlenstoff in Euro
VK	Vielfältige Kulturen im Ackerbau	224.000	22.084.702	198.406 ha	223.613 t	1,0	100
ZWF	Anbau von Zwischenfrüchten	212.000	1.781.281	17.890 ha	8.503 t	24,9	234
BLÜ	Anlage von Blüh- und Schonstreifen	319.000	6.931.909	6.066 ha	7.583 t	42,1	956
UFE/ERO	Anlage von Uferrand- und Erosionsschutzstreifen	339.000	3.868.796	3.677 ha	2.273 t	149,2	1.851
EXG	Extensive Grünlandnutzung	355.000	5.942.394	40.185 ha	14.467 t	24,5	435
VNS	Vertragsnaturschutz ²⁾	2.753.925	14.000.197	28.117 ha	11.911 t	231,2	1.407
ÖKO	Einführung/Beibehaltung ökologischer Landbau	149.276	9.124.385	30.415 ha	113.215 t	1,3	82
Gesamt		4.352.201	63.733.664	324.755 ha	381.564 t	11,4	178

1) Nur die in die Bewertung eingegangenen Flächen und zugehörigen Kosten (IK und öffentlichen Mittel) wurden berücksichtigt.

2) Die Implementationskosten und öffentlichen Mittel wurden kalkulatorisch auf den bodenschutzrelevanten Flächenumfang bezogen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Grajewski und Becker (2024), Reiter et al. (2024) und MLV (versch. Jg.), siehe Tabelle 31.

Insgesamt umfassen die Maßnahmen, die positive Effekte auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden haben, rund 263.000 Hektar Ackerfläche (Förderfläche). Die tatsächliche physische Fläche fällt geringer aus, da Ökobetriebe oftmals an AUKM wie dem Anbau von Zwischenfrüchten oder Vielfältigen Kulturen, aber auch dem VNS teilnehmen. Bezogen auf die Ackerfläche in NRW von im Jahr 2023 1,07 Mio. Hektar liegt der Anteil von geförderten Flächen mit Wirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung bei rund 25 Prozent. Diese Wirkungen sind aber begrenzt auf die Dauer der Förderung. Ändert sich durch einen Ausstieg aus der Maßnahme die Bewirtschaftung, dann fallen auch die Effekte auf die Kohlenstoffspeicherung weg (Wüstemann et al., 2023). Daneben konnten die Grünlandmaßnahmen mit den Förderauflagen die Kohlenstoff-Senkenwirkung des Grünlandes bewahren.

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 Wasser- und Winderosion und zur Verbesserung der Bodenbewirtschaftung geht auf die Maßnahmen mit programmiertem Bodenschutzziel im SPB 4C zurück. Diese

umfassen die AUKM (VK, ZWF, BLÜ, UFE/ERO, EXG, VNS), den Ökolandbau sowie die Europäischen Innovationspartnerschaften und LEADER.

Der Aspekt **Bodenerosion** wird in Bezug auf die Bewertungskriterien Wasser- und Winderosion betrachtet. Entsprechende Wirkungsfaktoren, die durch die Maßnahmen bedient werden, sind Verkürzung der erosiven Hanglänge, Erhöhung der Bodenbedeckung, Einführung/Umsetzung einer bodenschonenden Bewirtschaftung sowie Verringerung der Windgeschwindigkeit an der Bodenoberfläche (vgl. Tabelle 11). Für die Beurteilung des Beitrags des Programms zum Erosionsschutz 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 349.976 ha Ackerfläche bzw. 23,92 % der LF NRW anzurechnen (MULNV, 2021b). Gemessen am Wert des Zielindikators T12 (315.000 ha landwirtschaftliche Fläche, 21,53 % der LF) hat das Programm die gesetzten Ziele erreicht und sogar überschritten (vgl. Tabelle 33). 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 (%) sowie der mithilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) kalkulierte potenzielle vermiedene Bodenabtrag (in t gesamt sowie in t/ha) herangezogen. Insgesamt konnten ca. 14,8 % der Ackerfläche in der gesamten CC_{Wasser}-Kulisse ($E_{nat}5.1$ und $E_{nat}5.2$) erreicht werden. Auf diesen Flächen wurde in den jeweiligen Jahren des Förderhöchststandes (ZWF, UFE, ERO, EXG = 2020, BLÜ, UFE, ERO = 2021, VNS-AL, ÖKO = 2022) ein potenzieller vermiedener Bodenabtrag von minimal 0,4 Mio. t/a bis maximal 0,7 Mio. t/a gesamt kalkuliert, was einer Menge von im Mittel ca. 6 bis ca. 10 t/ha*a entspricht. Im Rahmen des Schutzes vor Winderosion konnte durch die relevanten Maßnahmen eine Fläche von 8,1 % der stark winderosionsgefährdeten Kulisse (CC_{Wind}) erreicht werden.

Zum zweiten Aspekt der Verbesserung der Bodenbewirtschaftung wird das Bewertungskriterium der Steigerung der **Kohlenstoffspeicherung im Boden** herangezogen. Dafür sind die Wirkungsfaktoren Verzicht auf Pflegeumbruch bzw. Erhalt der Grasnarbe, Anbau humusmehrender Kulturen sowie das mehrjährige Belassen derselben Struktur oder Kultur (Kohlenstoffeintrag durch Wurzeln) wichtig. Insgesamt wurden durch die mit SPB 4C programmierten Maßnahmen jährlich potenziell zwischen 375.111 und 376.395 t Humus C_{org} (Kohlenstoff) in den betrachteten Jahren des Förderhöchststandes (ZWF = 2020, BLÜ, UFE, ERO = 2021, VK, VNS-AL, VNS-GL, Obst/Hecken, ÖKO = 2022) in den Boden eingetragen, je nachdem, ob die Förderflächen der BLÜ- und VNS-AL-Förderung mit einjährigen oder mehrjährigen Streifen kalkuliert werden. Das Gros tragen dabei der Ökolandbau und die VK-Förderung bei, welche zusammen einen Anteil von knapp 90 % des potenziellen Kohlenstoffeintrags erbrachten.

Für die Erhöhung der Naturnähe und Nährstoffstabilisierung im Wald kann mangels Bodenschutzprogrammierung genau genommen keine Maßnahme herangezogen werden. Da das Fachreferat diese Maßnahmen fachlich jedoch explizit verfolgt, werden die beiden Waldmaßnahmen Waldumbau und Bodenschutzkalkung hier zur Auswertung verwendet. Sie tragen 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 war im Programm kein Zielwert vorgegeben. Basierend auf den gekalkten und neu bestockten Waldfächlen, wurden 32.631 ha erreicht (Förderdaten des Landes für 2015 bis 2023). Dies entspricht einem Prozentsatz von 3,6 % der forstwirtschaftlichen Fläche (MULNV, 2021a).

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 gesamten bodenschutzrelevanten Maßnahmen zurück. Diese umfassen im Wesentlichen Flächenmaßnahmen (VK, ZWF, BLÜ, UFE/ERO, EXG, VNS, ÖKO), investive Maßnahmen wie die Flurbereinigung, den Investiven Naturschutz, den Waldumbau, die Bodenschutzkalkung und die Europäischen Innovationspartnerschaften sowie LEADER.

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** vorgesehen.

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 jährlich (in den jeweiligen Jahren des Förderhöchststandes) potenziell insgesamt zwischen 375.111 (Minimal-Szenarium mit einjährigen Blühstreifen) und 376.395 t C_{org} (Maximal-Szenarium mit mehrjährigen Blühstreifen) bzw. 0,4 Mt C_{org} zusätzlich im Boden eingespeichert werden (vgl. Tabelle 34). Zum einen basiert das Ergebnis auf den Angaben der vereinfachten Humusbilanz, welche vorwiegend von den angebauten Kulturarten abhängig ist, und auf Vielfältige Kulturen im Ackerbau und Ökolandbau (geförderte Ackerflächen) angewendet wurde. Aufgrund nicht vorhandener Daten konnte die Zufuhr des organischen Düngers nicht berücksichtigt werden, was für eine vollständige vereinfachte Humusbilanzierung notwendig gewesen wäre. Zum anderen wurden wissenschaftliche Werten aus der Literaturrecherche zum eingetragenen Kohlenstoff oder den Werten der VDLUFA für die anderen Maßnahmen herangezogen und mit der jeweils erreichten Förderfläche multipliziert. Insgesamt leistet der Ökolandbau als Einzelmaßnahme, gefolgt von der VK-Förderung (mit und ohne ÖKO-Kombination), den stärksten Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung im Boden, v. a. da ein deutlich höherer Anteil humusmehrender Kulturen angebaut wurde. Die **investiven Maßnahmen** leisteten einen geringen und nicht quantifizierten Beitrag zur Humusanreicherung im Boden. Direkte Beiträge sind mit den neu eingebrachten Biotopelementen (Gewässerrandstreifen, Hecken/Knicks, Baumreihen/Alleen, Streuobstbäume) im Rahmen der Flurbereinigung und dem Investiven Naturschutz und indirekte Beiträge mit der Pflege der Hecken, Streuobstbäumen und Kopfweiden, um diese langfristig zu erhalten, verbunden. Allerdings sind die Beiträge insgesamt im Vergleich zu den Flächenmaßnahmen zu vernachlässigen, da mit den investiven Maßnahmen überwiegend andere Zielsetzungen verfolgt wurden. Im Schnitt konnte der Beitrag der investiven Maßnahmen (Flurbereinigung, Investiver Naturschutz, LEADER) und EIP als gering positiv bewertet werden.

Für den Wirkungsindikator **I.13: Bodenerosion durch Wasser, Anteil der Förderflächen auf besonders erosionsgefährdeten Flächen** sind zwei Unterindikatoren vorgesehen (vgl. Tabelle 34):

- zum einen die geschätzte Rate an Bodenverlust durch Wassererosion, gemessen in t/ha/a.
- zum anderen die geschätzte landwirtschaftliche 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 Flächenmaßnahmen pro Hektar und Jahr zu den jeweils betrachteten Jahren (2020, 2021, 2022) abbildet. In der Summe sind dies zwischen ca. 0,4 und ca. 0,7 t/ha*a. Der zweite Unterindikator wird bedient, indem die mit den relevanten Maßnahmen bewirtschafteten Ackerflächen mit Abtragswerten über 11 t/ha/a herangezogen werden. Da durch die Fördermaßnahmen der Abtrag basierend auf den ABAG-Kalkulationen diese Grenze nicht überschritt (Maximum lag bei 1,95 t/ha*a beim Ökolandbau in der CC_{Wasser}1-Klasse), ist für die Hektar- und Prozentangaben ein Nullbeitrag einzuberechnen. Die Wirkungsbeiträge zu den geringen Bodenabträgen gehen zum einen auf die hohe Bodenbedeckung (wie z. B. bei den Blühstreifen, was einem geringen Bedeckungs- und

Bearbeitungsfaktor entspricht) und zum anderen auf die z. T. hohen Anteile in der erosionsgefährdeten Kulisse (beim Ökolandbau absolut, bei den Erosionsschutzstreifen relativ zur Förderfläche) zurück. Ein Beitrag der **investiven Maßnahmen** zum Schutz des Bodens vor Wasser- und Winderosion geht von wenigen Vorhaben aus. Beispiele sind die umgesetzten Maßnahmen im Rahmen der Flurbereinigung und des Investiven Naturschutzes (z. B. neu eingebrachte Biotopelemente, s. o.). 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. Bei den LEADER-Projekten ist der Beitrag aufgrund der sehr geringen Zahl relevanter Projekte auch minimal.

Zur nachhaltigen Bodenbewirtschaftung tragen auch die beiden Maßnahmen **Waldumbau** und **Bodenschutzkalkung** im Wald bei. Mit dem Etablieren stabiler und standortgerechter Laub- und Mischwälder durch **veränderte Bestockungsverhältnisse** wird die Naturnähe der Waldbestände erhöht und die Bodenqualität sowohl in physikalischer, chemischer als auch biologischer Hinsicht signifikant verbessert. Die ist z. B. auf die veränderte Durchwurzelung und Streuzusammensetzung der eingebrachten Laubbäume zurückzuführen. Eine Waldfläche von 13.250 ha wurde von 2015 bis einschließlich 2023 mit der Maßnahme erreicht (Förderdaten des Landes). Durch das Einbringen der Pufferverbindungen auf kalkungswürdigen Waldflächen, welche auf Grundlage einer Bodenanalyse und einer Bestätigung des Forstamts festgelegt werden, 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 2023 wurden 19.381 ha förderfähige Waldfläche gekalkt (Förderdaten des Landes).

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Aufbauend auf den Erkenntnissen des Kapitels 5 werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen für ausgewählte 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 bundesweit angebotene 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 96 % der LF in NRW 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_{Wasser1}- und K_{Wasser2}-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.

Vielfältige Kulturen im Ackerbau

Basierend auf den Ergebnissen der Effizienzanalyse, schneidet die VK-Förderung in Bezug auf die Gesamtkosten je Tonne vermiedener Bodenabtrag und je Tonne gespeicherter Kohlenstoff mit am besten ab. Damit ist es als positiv zu werten, dass die Maßnahme in der Förderperiode ab 2023 von NRW weiterhin als AUKM im Rahmen des GAP-Strategieplans angeboten wird. Die Abgrenzung zur Ökoregelung ist durch das Vorhalten von mindestens 10 % großkörniger Leguminosen gewährleistet (RL AUM 2022). Es bestünde zudem die Möglichkeit, die Förderung auch in Hinblick auf den Erosionsschutz weiter zu qualifizieren. Als Förderbaustein wäre 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 möglich. Dies ist bereits in der Förderperiode ab 2023 in Hessen als reine Landesförderung Hessen etabliert (Fränzke, 2025) und verspricht ein hohes Wirkungspotenzial.

Anlage von Blüh- und Schonstreifen (BLÜ)

Da in der Förderperiode ab 2023 diese BLÜ-Maßnahme in Form der mehrjährigen Buntbrache angeboten wird, können die Empfehlungen der Wirkungskapitel zur verbesserten Lage auf diese oder ggf. kommende ähnliche Blühstreifen- oder Brachemaßnahmen übertragen werden. Es bestehen sehr große Wirkpotenziale, trotz dem im Vordergrund stehenden Biodiversitätsziel durch einen Umbau der Förderung (siehe dazu Abschnitt Umbau des bodenbezogenen Maßnahmenangebots) auch die Anforderungen des Erosionsschutzes stärker zu berücksichtigen.

Erosionsschutzstreifen (ERO)

Aus Ressourcenschutzsicht ist die Anlage von Erosionsschutzstreifen bezogen auf den vermiedenen Bodenabtrag je Hektar am wirkungsvollsten. Dies spricht für eine Beibehaltung der Maßnahme. Für die Schlussfolgerungen wird dem entsprechenden Bewertungsbericht gefolgt (Scholz, 2024). Die Empfehlungen umfassen u. a.

- die Beibehaltung früher Termin zur Einsaat (bis zum 01.04 des ersten Verpflichtungsjahres),
- ein Ausbau der Beratung hinsichtlich der Anlage der Streifen,
- sowie eine Förderung der räumlich integrativen Sichtweite (ggf. auch im Rahmen der Beratung), um auch im größeren Kontext, Synergieeffekte für den Schutz vor Wassererosion zu erzielen.

Uferrandstreifen (UFE)

Die Uferrandstreifen weisen (wie die Erosionsschutzstreifen) ein hohes Potenzial zur Kohlenstoffspeicherung im Boden auf und wurde in der Förderperiode bis 2022 verglichen mit anderen Maßnahmen gut angenommen. Demnach ist es positiv zu bewerten, dass die Maßnahme in der Förderperiode ab 2023 weiterhin angeboten wird. Das sich sehr häufig verändernde Ordnungsrecht und auch die Änderungen in den Konditionalitäten machen allerdings eine häufige Nachjustierung an die Auflagen bzgl. der Düngung und der PSM-Anwendung sowie der verpflichtenden Begrünung erforderlich. Aus Erosionsschutzsicht sind besonders bei leicht geneigten Ackerschlägen mit einer Hangneigung unter durchschnittlich 5 % (WHG § 38a) Uferrandstreifen wichtig und sollten gefördert werden.

Vertragsnaturschutz

Die bodenschutzrelevanten Pakete werden auch in der Förderperiode ab 2023 wieder angeboten. Allerdings gibt es einige Abweichungen, so z. B. beim Paket 5024 Stehen lassen von Getreidestoppeln (außer Mais), die

Ergänzung, dass jegliche Art der Beikrautregulierung ausgeschlossen ist. Dies bietet für den Bodenschutz das Potenzial, die Bodenbedeckung über einen längeren Zeitraum zu erhalten, was wiederum der Erosionsschutzwirkung zuträglich und damit zu befürworten ist. Die anderen bodenschutzrelevanten Pakete auch im Grünland sowie bei den Streuobstwiesen und Hecken sind bis auf die Prämienanpassungen unverändert in Hinblick auf den Bodenschutz übernommen worden. Aus Bodenschutzsicht ist dahingehend von keiner Veränderung des Wirkungspotenzials auszugehen (also auch keine Verschlechterung). Denkbar ist, die Vertragsnaturschutzflächen im Ackerland noch stärker in die erosionsgefährdeten Flächen zu bringen (s. u.).

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

Die zweite Säule hat ein hohes Potenzial, Maßnahmen mit Bodenschutzziel zielgerichtet umzusetzen. Dies konnte am Beispiel der Vielfältigen Kulturen im Ackerbau und den Erosionsschutzstreifen gezeigt werden. Bedient werden dort die für den Bodenschutz relevanten Wirkungsfaktoren. Allerdings wurden die von Wasser- und Winderosion stark gefährdeten Ackerflächen mit ca. 7 % (Winderosionskulisse) und knapp 15 % (Wassererosionskulisse) mit den relevanten 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 nach 2027 könnten Maßnahmen wieder aufgegriffen werden, welche sich positiv auf den Erosionsschutz und die Kohlenstoffspeicherung im Boden auswirken. Zum Beispiel könnte eine Maßnahme zum Zwischenfruchtanbau (Abgrenzung zur GLÖZ 6 in der Förderperiode ab 2023) mit einem stärkeren Fokus auf humusmehrende Kulturen etabliert werden.

Weitere bodenschutzrelevante Themen wie Bodenverdichtung und Flächenversiegelung werden durch den ELER nur randständig adressiert. Geringfügig thematisiert wird die Flächenversiegelung beispielweise im Rahmen des Wegebaus in der Flurbereinigung. Hierüber 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, Steigerung 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) und K_{Wind} -Kulisse (Winderosion) könnte sich die Prämienhöhe nach der erreichten Gefährdungsstufe bemessen.

Prämie für stark erosionsgefährdete Böden

Der o. g. Ansatz ist auch für die stark durch Wasser oder Wind 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.

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 den Wert 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 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, 2021a; BMUV, 2024).

Literaturverzeichnis

- Ad-Hoc-AG Boden, Hennings, V. (2000) Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Geologisches Jahrbuch Sonderhefte Reihe G Heft SG 1
- 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_1_9-01-2017.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- Agra-Europe (2011) Biodiversitätsstrategie der EU für das Jahr 2020. 23:Dok 1-Dok 9
- AgrarZahlVerpfIV: Verordnung über die Einhaltung von Grundanforderungen und Standards im Rahmen unionsrechtlicher Vorschriften über Agrarzahlungen (2014), zu finden in <<https://www.gesetze-im-internet.de/agrarzahlverpfIV/AgrarZahlVerpfIV.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- Arbeitsgruppe BEK (2016) Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft, zu finden in <www.ktbl.de> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 Regenerosivität seit 1960 und Konsequenzen für Bodenabtragsschätzungen. Bodenschutz, Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser
- Bamminger C (2021) Humusmonitoring auf Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen: 30 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen, 1-2.12.2021 (online), hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), zu finden in <https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/179441/30_Jahre_BDF_Vortrag_17_Bamminger_Humusmonitorin_NRW.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- Bathke M (2023) „Investiver Naturschutz“ (7.6) und „Schutz- und Bewirtschaftungskonzepte Naturschutz“ (7.1.3): Bericht im Rahmen der laufenden Bewertung des NRW-Programms Ländlicher Raum 2014 bis 2022. Braunschweig. 5-Länder-Evaluation 3/2023, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/elr2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2023/3-2023_Investiver_Naturschutz_NRW.pdf> [zitiert am 5.5.2023]
- Bathke M (2025, in Vorbereitung) Bewertungsbericht zur Fördermaßnahme „Flurbereinigung“ (ELER-Code 4.32): NRW-Programm ländlicher Raum 2014 bis 2022
- Bathke M, Stefan Becker, Bergschmidt A, Ebers H, Eberhardt W, Fengler B, Forstner B, Grajewski R, Pollermann K, Pufahl A, Raue P, Reiter K, Roggendorf W, Sander A, Schwarze S, Scholz J (2023) Feinkonzept zum Bewertungsplan: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. Version 5, Stand 10/2023 (unveröffentlicht). Braunschweig, 214 p
- Bathke M, Tietz A (2016) Ex-post-Bewertung NRW-Programm Ländlicher Raum 2007 bis 2013: Modulbericht 5.9_MB© Maßnahmenbewertung Flurbereinigung (ELER-Code 125-A). Braunschweig, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/elr2/Publikationen/Projektberichte/7-Laender-Bewertung/2016/NRW/NRW_5_9_MB_c_Flurbereinigung.pdf>
- BauGB: Baugesetzbuch (1960), zu finden in <<https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BauGB.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]

- BBodSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz) (1998), zu finden in <<https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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>> [zitiert am 18.11.2025]
- Berwinkel-Kottmann L, Mistele B, Feil H-J (2024) EIP-Projekt „DigitalFarmPraxis NRW“ 2020-2022: Präsentation auf der Präsenzveranstaltung „Nachhaltige Innovationen in der Landwirtschaft“. Kleve
- BMEL (ed) (2024) Anpassungen der Öko-Regelungen ab 2025, 5 p, zu finden in <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/EU-Agrarpolitik-Foerderung/anpassungen-oeko-regelungen-2025.pdf?blob=publicationFile&v=1> [zitiert am 18.11.2025]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2019) 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] (2021a) 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 18.11.2025]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2021b) 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]
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft] (2022) Nr. 2.2 der Richtlinie für Zuwendungen zu einem Klimaangepassten Waldmanagement: Kriterien des Klimaangepassten Waldmanagements.
- BMLEH [Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat] (2023) Wald-Klima-Paket: Fördermittel für 2023 werden ab sofort wieder bewilligt: 200 Millionen Euro stehen zur Verfügung / de-minimis-Auflagen entfallen. Pressemitteilung Nr. 58/2023. [zitiert am 17.8.2025]
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit] (2016) Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, zu finden in <<https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050/>> [zitiert am 15.12.2020]
- 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 18.11.2025]
- BNatSchG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) (2009), zu finden in <http://www.bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]

- Brand-Sassen H (2004a) Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft - Stand und Verbesserungsmöglichkeiten. Göttingen, zu finden in <<http://dx.doi.org/10.53846/goediss-1768>> [zitiert am 12.5.2025]
- Brand-Sassen H (2004b) 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]
- Brown JL, Stobart R, Hallett PD, Morris NL, George TS, Newton AC, Valentine TA, McKenzie BM (2021) Variable impacts of reduced and zero tillage on soil carbon storage across 4–10 years of UK field experiments. *J Soils Sediments* 21(2):890–904. doi: 10.1007/s11368-020-02799-6, zu finden in <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-020-02799-6>> [zitiert am 18.11.2025]
- Brügge, Kimberley; Don, Axel (2025): Einfluss der ökologischen Landwirtschaft auf den Bodenkohlenstoff – Ergebnisse aus Bodeninventuren in Deutschland. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI) (Thünen Report, 125). Online verfügbar unter 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-medien-service.de/simpledownloadable/freedownload/link/hash/a73ae8430ff9715bd41e98afe9fe353c/>> [zitiert am 18.11.2025]
- Bundesregierung (2023) Klimaschutzprogramm 2023 der Bundesregierung, zu finden in <<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.pdf?blob=publicationFile&v=10>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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]
- Copernicus (2018) CORINE Land Cover 2018 (vector): Europe, 6-yearly - version 2020_20u1, May 2020, zu finden in <<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>> [zitiert am 18.11.2025]
- Da Re V, Grandl K, Harleß P, Mangold H, Nitschke A, Thiel M (2023) Agroforst Wirtschaft: Ackerbau- Tierhaltung- Holzwirtschaft. Umweltschutz und wirtschaftlicher Erfolg! Eine Win-Win Lösung für Mensch und Natur!, hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), Bundesamt für Naturschutz (BfN), Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 1. Aufl., zu finden in <<https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2023/09/2023-04-agroforst.verbreiten-Agroforst-Leitfaden-Webversion.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3 Datenlieferung der Erosionsschutzkulissen verschiedener Jahre
- Der Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragter, Geschäftsbereich 3 (2015) Merkblatt „Erosionsschutz“, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/gqs/vordrucke/01-betrieb/mb-cc-erosionsschutz.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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-förderprogramme-5411206239005.xlsx?blob=publicationFile>> [zitiert am 18.11.2025]
- DESTATIS [Statistisches Bundesamt] (2022) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Wachstum und Ernte - Feldfrüchte - [zitiert am 15.7.2022]
- Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) (2023) DeFAF Agroforst-Landkarte: Übersicht zu eingetragenen Agroforstflächen., zu finden in <<https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2024/03/Uebersicht-zu-Agroforstflaechen-in-Deutschland-2023-DeFAF.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]

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 (2021) Klimaschutz durch Hecken: Erste Ergebnisse aus dem Projekt CarboHedge. Bioökonomie in Niedersachsen & Schleswig-Holstein: Agroforst, hg. v. Thünen Institut für Agrarklimaschutz [zitiert am 25.11.2024]

Drexler S (2023) Praxiswissen Hecken: CO2-Bindung durch Hecken – wieviel Klimaschutz ist möglich?, hg. v. Thünen Institut für Agrarklimaschutz, zu finden in <https://www.thuenen.de/media/institute/lv/Projekt-Downloads-pdf/CatchHedge/2023-01_CO2-Bindung-durch-Hecken_wieviel-Klimaschutz-ist-moeglich.pdf> [zitiert am 18.11.2025]

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 18.11.2025]

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]

Drexler S, Gensior A, Don A (2021) Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. Regional Environmental Change(74), zu finden in <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10113-021-01798-8.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]

Dürr A, Weninger T, Loicht J, Strauss P (2024) Hecken und ihre Ökosystemleistungen: Einführung und Anwendung des Bewertungssystems Heck.in. Naturschutz und Landschaftsplanung 56(7):24-31, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/371956825_Heckin_-Hecken_und_ihre_Okosystemleistungen_-eine_Bewertung_anhand_von_Indikatoren> [zitiert am 25.11.2024]

Duttmann R, Hassenpflug W, Busch M, Lungershausen U, Frank J-H (2011) Winderosion in Schleswig-Holstein: Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz, hg. v. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Schleswig-Holstein, 110 p. Schriftenreihe LLUR SH Geologie und Boden

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 18.11.2025]

DVL (1998) Kopfweiden, Hinweise zur Biotope- und Landschaftspflege. DVL Deutscher Verband für Landschaftspflege Koordinierungsstelle Brandenburg, zu finden in <https://www.dvl.org/uploads/txt_products/datasheet/DVL-Publikation-Praxisheft_Hinweise_zur_Biotope- und_Landschaftspflege-Kopfweiden.pdf> [zitiert am 18.11.2025]

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) EIP-Projekt-Datenbank: Informationen zu allen Forschungsprojekten, die bislang in Deutschland von der EU und den Bundesländern über EIP-Agri gefördert wurden, zu finden in <<https://www.dvs-gap-netzwerk.de/agrar-umwelt/eip-agri/eip-projekt-datenbank/>> [zitiert am 18.11.2025]

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>> [zitiert am 18.11.2025]

- Eberhardt W (2024) Evaluierung der Umsetzung der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-Agri) – Bilanz 2015–2023: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. 5-Länder-Evaluation 16/2024, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/elser2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2024/16-2024_NRW_EIP.pdf> [zitiert am 10.2.2025]
- Eickenscheidt N (2024) Das forstliche Umweltmonitoring in NRW: Erkenntnisse zu Waldböden aus der Bodenzustandserhebung und dem Intensivmonitoring. Waldbodenkolloquium, Geologischer Dienst NRW, 15.05.2024 in Krefeld, hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), zu finden in <https://www.gd.nrw.de/zip/WABOKO_2024_09a_Eickenscheidt_Forum.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- Elhaus D, Wagner K (2023) Erosionsgefährdung: Informationen zu den Auswertungen der Erosionsgefährdung durch Wasser, hg. v. Geologischer Dienst NRW, zu finden in <<https://www.gd.nrw.de/zip/erosionsgefaehrdung.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- 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>
- 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> [zitiert am 18.11.2025]
- 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/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380>> [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 18.11.2025]
- 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
- 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 18.11.2025]
- 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
- 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 18.11.2025]
- FöRI Extremwetterfolgen: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Maßnahmen zur Bewältigung der Folgen extremer Wetterereignisse im Privat- und Körperschaftswald in Nordrhein-Westfalen (2019)
- Franz K (2019) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2020: Evaluation der forstlichen Förderung. Braunschweig: Thünen-Institut für Betriebswirtschaft (TI-BW), 5-Länder-Evaluation 2/2019, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/elr2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2019/2_19_NRW-Berichte_aus_der_Evaluation-Forst_20190325.pdf> [zitiert am 10.10.2024]
- Fränzke 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 18.11.2025]
- Fynn L-L, Pollermann K (2022) Länderübergreifender Bericht zur Umsetzung von LEADER in der Förderperiode 2014-2022: vergleichende Untersuchung im Rahmen der laufenden Bewertung der Entwicklungsprogramme für den ländlichen Raum der Länder Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein. Braunschweig: Thünen-Institut für Lebensverhältnisse in ländlichen Räumen (TI-LV), 5-Länder-Evaluation 5/2022, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/elr2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2022/5-Laender-Evaluation_5-2022.pdf> [zitiert am 6.9.2022]
- GAPDZG: Gesetz zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik finanzierten Direktzahlungen: GAPDZG (2021). In: Bundesgesetzblatt I [zitiert am 7.12.2021]
- 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
- Gebel M, Uhlig M, Bürger S, Halbfäß S (2025) Erosionsgefährdung von Böden durch Wind: Aktualisierung der bundesweiten Betrachtung. Abschlussbericht, hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Texte

- Gehrman J (2012) Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald - BZE II (2006-2008) - zur Bodenversauerung und Waldkalkung. In: Waldzustandsbericht 2012. Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in NRW: pp 36-49
- 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 Emissionsen 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
- Geologischer Dienst NRW (2023) Informationssystem Erosionsgefährdung der Böden in NRW nach der ABAG: IS EroGef Erosionsgefährdung der Böden in NRW nach der ABAG als Geodatabase. Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT. NRW), zu finden in <<https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geologie/boden/BK/ISEROGEF/>> [zitiert am 18.11.2025]
- Geologischer Dienst NRW (o.J.) Landeserosionskulisse - Erosionsgefährdung landwirtschaftlicher Flächen nach der GAP-Konditionalitäten-Verordnung - (GAPKondV), zu finden in <https://www.gd.nrw.de/pr_kd_wms_landeserosionskulisse.htm> [zitiert am 18.11.2025]
- Grajewski R, Becker S (2024) Implementation des NRW-Programms Ländlicher Raum 2014 bis 2022: Aufwand, Kosten und Bestimmungsfaktoren. 5-Länder-Evaluation 15/2024, zu finden in <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn068495.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- Grüneberg E, Wilpert Kv, Meesenburg H, Ziche D, Andreae H, Wellbrock N (2017) Was nützt die Waldkalkung? AFZ Der Wald(2):15-17
- Guggenberger G, Gentsch N (2023) Stickstoff- und Wassermanagement auf Ackerböden: Zwischenfrüchte statt Winterbrache. Unimagazin(03/04):60-63, zu finden in <https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/alumni/unimagazin/2023_Wasser/Unimagazin_WASSER_gesamt_NEU.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-17_texte_32-2020_oekologische-landwirtschaft.pdf> [zitiert am 23.12.2020]
- Harbo LS, Schulz G, Heinemann H, Dechow R, Poeplau C (2022) Flower strips as a carbon sequestration measure in temperate croplands. Plant and Soil. doi: 10.1007/s11104-022-05718-5, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/364306087_Flower_strips_as_a_carbon_sequestration_measure_in_temperate_croplands> [zitiert am 8.11.2022]
- Hegg C, Jeisy M, Waldner P (2004) Wald und Trinkwasser. Eine Literaturstudie. Birmensdorf, zu finden in <https://www.researchgate.net/publication/238702459_Wald_und_Trinkwasser_Eine_Literaturstudie> [zitiert am 2.9.2019]
- Helfrich M, Dechow R, Merl S, Fuß R, Räßiger T, Kühling I, Schlathölter M, Kage H, Flessa H (2024) Winter cover crops decreased soil mineral N contents and increased soil organic C stocks and N₂O emission. Agriculture, Ecosystems and Environment(367), zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880924001038>> [zitiert am 25.11.2024]
- Honecker H, List M, Hendrischke, 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/simpledownloadable/freedownload/link/hash/81b3106c859348f08803227fd8c7d77a/>> [zitiert am 6.3.2023]
- Hoppenhaus K (2021) Phosphormangel im Ökolandbau - können Recycling-Dünger eine Lösung sein?: Struvit ist ein Recyclingprodukt, das viele wichtige Kriterien des Ökolandbaus erfüllt. Doch noch ist es nicht zugelassen., zu finden in <<https://www.riffreporter.de/de/umwelt/phosphor-recycling-duenger-oekolandbau-struvit>> [zitiert am 18.11.2025]
- ILE-Richtlinie NRW: Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung einer integrierten ländlichen Entwicklung. Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz - IIB2.0228.22901.02 vom 27. Januar 2016 (2016)

- Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensor 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
- Kay S, Rega C, Moreno G, Herder M den, Palma JH, Borekg R, Crous-Duran J, Freese D, Giannitsopoulos M, Graves A, Jäger M, Lamersdorf N, Memedemin D, Mosquera-Losada R, Pantera A, Paracchini ML, Paris P, Roces-Díaz JV, Rolo V, Rosati A, Sandor M, Smith J, Szerencsits E, Varga A, Viaud V, Wawer R, Burgess PJ, Herzog F (2019) Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. Land Use Policy 83:581-593, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837718310470>> [zitiert am 21.1.2024]
- Kilian S, Jungbeck P, Machmerth E, Degenbeck M (2025) Streuobst erhalten - pflegen - nutzen, hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). LfL-Information, zu finden in <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/streuobst-erhalten-pflegen-nutzen_lfl-information.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- Koordinierungsausschuss Obstwiesenschutz in NRW (o. J.) Pflege einer Streuobstwiese. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW), zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/beratung/pdf/streuobstwiese-pflege.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 Völkenrode 55: pp 1-10, zu finden in <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/zi036604.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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>>
- 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, Döfinger 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-medienservice.de/simpledownloadable/freedownload/link/hash/45fc10cb69a97059a57cb181ed449647/>> [zitiert am 18.11.2025]

- 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 18.11.2025]
- Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK) (2021) Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring in NRW: Humusvorrat. „Bisher keine Änderungen erkennbar.“, zu finden in <<https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-monitoring/umwelt/boden/humusvorrat>> [zitiert am 18.11.2025]
- Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK) (o. J.) Bodenschutz- und Altlastenförderung., zu finden in <<https://www.lanuk.nrw.de/themen/boden/bodenschutz-und-altlastenfoerderung>> [zitiert am 18.11.2025]
- Landesbetrieb WuH [Landesbetrieb Wald und Holz NRW] (2024) Förderdaten der ELER-Maßnahmen M4.31, M8.5 und M8.6. Förderjahre 2015 bis 2023 zusammengefasst (unveröffentlicht)
- LANUV [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen] (o.J.) Entstehung von Bodenerosion, zu finden in <<https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/bodenschutz-und-altlasten/bodenschutz/bodenerosion/entstehung-von-bodenerosion/>> [zitiert am 10.11.2022]
- LANUV [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen] Karte der Erosionsgefährdung, zu finden in <<https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/bodenschutz-und-altlasten/bodenschutz/bodenerosion/karte-der-erosionsgefaehrung/>> [zitiert am 4.1.2023]
- LANUV [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen] (2021) Gebiete nach §13a Düngeverordnung, Daten der Vorjahre: Betroffene Feldblöcke innerhalb der eutrophierten Gebiete nach § 13a DüV (01/2021) als Shape, zu finden in <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/wasser/duev/> [zitiert am 18.11.2025]
- LANUV [Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen] (2022) Kartenlayer Größere Fließgewässer NRW (GSK3C, Auflage 30.11.2010), zu finden in <<http://www.gis-rest.nrw.de/atomFeed/rest/atom/b28dbd7a-0559-487b-b3bf-2836290595b3/7A269832-D913-4FD7-9056-65E98093B548.html>> [zitiert am 18.11.2025]
- LBodSchG: Landesbodenschutzgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesbodenschutzgesetz) (2000): In: Gesetz- und Verordnungsblatt (GV. NRW): S.439, zu finden in <https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?sg=0&print=1&menu=0&anw_nr=2&gld_nr=%202&ugl_nr=2129&val=4898&ver=0&aufgehoben=N&keyword=&bes_id=4898&show_preview=1&typ=Kopf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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>>
- LESchV: Verordnung zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad der Erosionsgefährdung durch Wasser und Wind (Landeserosionsschutzverordnung) (2015), zu finden in <https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=2&bes_id=32664&aufgehoben=N> [zitiert am 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- LfL [Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft] (ed) (2023) Bodenerosion: Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung - 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 18.11.2025]
- LfULG [Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie] (ed) (2010) Erosionsschutz in reliefbedingten Abflussbahnen: Schriftreihe, Heft 13/2010
- Liste der Vorhaben OP EFRE NRW 2014-20: Datenstand / Last update: 31.03.2024 (2024) [zitiert am 13.8.2025]
- Lori M, Symnaczik 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] (2019) LEADER-Projekt Region Bocholter Aa: Ressourcen- und Umweltschonung in der Pflanzenproduktion: Maßnahmen zur Minderung der Nitratauswaschung im intensiven Anbau von Spinat. Projektinfo., zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/beratung/gemuesebau/artikel/leader-spinat.htm>> [zitiert am 18.11.2025]
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2023b) Winderosionsgefährdete Gebiete in NRW: INSPIRE Dataset Feed: Winderosionsgefährdete Gebiete in NRW. INSPIRE Download Service Feed: Atom-Feed Landwirtschaftskammer NRW, EU-Förderung., zu finden in <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/bodennutzung/landwirtschaft/K-WIND_EPSG25832_Shape.zip>
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2007a) Bodenerosion durch Wasser. Münster
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2007b) 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 18.11.2025]
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2020) Landwirtschaftlich relevante Daten: Hist. beantragte und als förderfähig festgestellte Teilschlüsse in NRW als Shape, zu finden in <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/bodennutzung/landwirtschaft/> [zitiert am 22.3.2024]
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2021) Historische beantragte und als förderfähig festgestellte Teilschlüsse in NRW (ab 2019): Open Data - Datenbeschreibung der Datensätze der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, EU-Förderung. Feldblöcke 2021, zu finden in <file:///C:/Users/scholz/Downloads/Attributbeschreibungen_Datensaetze_LWK-2.pdf> [zitiert am 5.9.2025]
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2023a) Wassererosionsgefährdete Gebiete in NRW: CCWasser1 und CCWasser 2, zu finden in <https://www.wfs.nrw.de/umwelt/lwk_eufoerderung?REQUEST=GetCapabilities&SERVICE=WFS> [zitiert am 18.11.2025]
- LWK NRW [Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen] (2024) Suchkulisse Randstreifen nach WHG §38a oder DVO §5 in NRW als Shape: Open Data - Datenbeschreibung der Datensätze der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, EU-Förderung, zu finden in <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/bodennutzung/landwirtschaft/SK-WHG-DVO_EPSG25832_Shape.zip> [zitiert am 20.3.2024]
- Maetens W, Poesen J, Vanmaercke M (2012) How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? *Earth-Science Reviews* 115(1-2):21-36. doi: 10.1016/j.earscirev.2012.08.003, zu finden in <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825212001006>> [zitiert am 18.12.2023]
- Makeschin F, Augustin S (2006) Wirkungen von Waldumbau auf Waldböden und ihren Humuskörper. In: Fritz P (ed) Ökologischer Waldumbau in Deutschland. Fragen, Antworten, Perspektiven: pp 124-151
- Mellert KH, Gensior A, Göttlein A, Kölling C (2007) Prädiktoren des Nitrataustrags aus Wäldern - Ergebnisse der bayerischen Nitratinventur im mitteleuropäischen Vergleich. *Forstarchiv* 78:139-149
- 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 18.11.2025]
- Meyer L, Klimke M (2024) Fördermöglichkeiten für Agroforstsysteme in Nordrhein-Westfalen, hg. v. INTEGRA, zu finden in <https://www.integra.uni-freiburg.de/wp-content/uploads/2024/10/NordrheinWestfalen_Foerderung_FINAL.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- Meyer M (2000) Entwicklung und Modellierung von Planungsszenarien für die Landnutzung 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]

- MWMEV [Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen] (2020) Waldschäden und Waldzukunft: Erweiterte Förderrichtlinie Extremwetterfolgen tritt in Kraft: Zur Unterstützung bei der Schadensbewältigung im Wald und der Wiederbewaldung hat das Umweltministerium NRW die Förderangebote der Extremwetter-Richtlinie deutlich erweitert. Fortan werden über die Richtlinie Extremwetterfolgen auch Maßnahmen zur Wiederaufforstung, zur bestands- und bodenschonende Flächenräumung sowie zur Aufarbeitung abgestorbener Nadelbäume gefördert., zu finden in <<https://www.umwelt.nrw.de/waldschaeden-und-waldzukunft-erweiterte-foerderrichtlinie-extremwetterfolgen-tritt-kraft>> [zitiert am 17.8.2025]
- MKULNV [Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2012) Waldzustandsbericht 2012. Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in NRW
- MKULNV [Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2015a) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014-2020.: Version 1.3 (Mit nationaler Rahmenregelung konsolidiert 2014DE06RDNF001 - v1.3 - Von der Europäischen Kommission angenommen). Zuletzt geändert am 13.02.2015. Düsseldorf, 638 p
- MKULNV [Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2015b) Richtlinien zur Förderung des ökologischen Landbaus: RdErl. d. Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
- MKULNV [Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2015c): Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen für die Gefahrenermittlung und Sanierung von Altlasten sowie für weitere Maßnahmen des Bodenschutzes (Bodenschutz- und Altlastenförderrichtlinien) BAfrl: In: SMBI. NRW.
- MKULNV [Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (ed) (2017) Jährlicher Durchführungsbericht 2016 zum NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 - 2020: 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
- MLV (2024) Jährlicher Durchführungsbericht (Zeitraum 01/01/2023-31/12/2023): Germany - Rural Development Programme (Regional) - North Rhine-Westphalia, Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MLV)
- MLV (2025) Jährlicher Durchführungsbericht (Zeitraum 01/01/2024-31/12/2024): Germany - Rural Development Programme (Regional) - North Rhine-Westphalia, Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MLV)
- MLV [Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (versch. Jg.) Finanztabelle für den jährlichen Durchführungsbericht zum NRW-Programm Ländlicher Raum 2014-2022: Stand der Durchführung, finanzielle Abwicklung 2015 bis 2024
- MLV [Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (ed) (2023a) Waldzustandsbericht 2023: Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen, MLV, zu finden in <https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Wald_in_NRW/waldzustandsbericht_nrw_2023_lang.pdf>
- MLV [Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (ed) (2023b) Waldzustandsbericht 2023: Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen | Langfassung, zu finden in <https://waldkalkung.com/wp-content/uploads/2024/11/NRW_Waldzustandsbericht_2023_lang.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2019a) Landeswaldbericht 2019: Bericht über Lage und Entwicklung der Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 163 p
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2019b) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2020. Jährlicher Durchführungsbericht 2018. Düsseldorf, zu finden in <https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/landwirtschaft/programm_laendl_raum/durchfuehrungsbericht_jaehrlich_nrw_programm_de.pdf> [zitiert am 2.9.2019]
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2021a) Germany - Rural Development Programme (Regional) - North Rhine-Westphalia: Version 8.0 [zitiert am 27.3.2024]

- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2021b) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022, Jährlicher Durchführungsbericht 2020
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2021c) Programm zur Entwicklung des ländlichen Raums: 8.0 (Mit nationaler Rahmenregelung konsolidiert 2014DE06RDNF001 - v8.1 - Von der Europäischen Kommission angenommen)
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (ed) (2021d) Waldzustandsbericht 2021: Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen, MULNV, MULNV, zu finden in <https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/Waldzustandsbericht_NRW_2021_Langfassung.pdf>
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2023) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014-2022: Version 11.1 - Von der Europäischen Kommission angenommen. zuletzt geändert am 13.07.2023. Düsseldorf
- MULNV [Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2018) Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung ländlicher Wegenetzkonzepte und der ländlichen Bodenordnung nach dem Flurbereinigungsgesetz: Runderlass des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. - II-8-833.40.00 -. SMBI. NRW [zitiert am 16.9.2025]
- MUNLV [Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen] (2021) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014-2022: Version 8.1 (Mit nationaler Rahmenregelung konsolidiert 2014DE06RDNF001 - v8.1 - Von der Europäischen Kommission angenommen) [zitiert am 6.3.2023]
- 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/skript472.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- 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
- NZ Coesfeld [Naturschutzzentrum Kreis Coesfeld e. V.] (2021) LEADER-Projekt: Schaffung naturnaher Wegränder in der Region Baumberge, zu finden in <https://naturschutzzentrum-coesfeld.de/cms-files/20210428_auftakttermin_leader-wegrandpflege_nz-coesfeld.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- OG Fruchfolgeerweiterung durch Sommergetreide [OG Nachhaltige Fruchfolgeerweiterung durch Sommergetreide] (2022) Abschlussbericht: der Operationellen Gruppe im Projekt „Nachhaltige Fruchfolgeerweiterung durch Sommergetreide in wassersensiblen Gebieten am Beispiel alter Getreidesorten für das Back- und Brauhandwerk“. Europäische Innovationspartnerschaft [zitiert am 20.8.2025]
- OG Öko-Nährstoff-Manager (2020) Abschlussbericht: EIP-Agrar NRW Projekt Nährstoffmanagement und langfristig gesicherte Ertrags steigerung in ökologischen Marktfruchtbetrieben mittels einer neuen Öko-Düngereplanung und angepasster Öko Standard-Bodenproben-Untersuchungen. Kurztitel: EIP-Nährstoffmanagement, zu finden in <https://www.dvs-gap-netzwerk.de/fileadmin/sites/ELER/Datenbank/DOC_PDF/2020_Abschlussbericht_N%C3%A4hrstoffmanager.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- OG P-Rezyklierung [OG Phosphor-Rezyklierung im Ökologischen Landbau] (o. J.) Abschlussbericht: Innovationsprojekt: Alternative Phosphordünger (P-Rezyklate) zur Ertragssteigerung von Leguminosen und Getreide im Ökologischen Landbau (Öko-P). EIP Agrar NRW Projekt [zitiert am 20.8.2025]
- OG Winterhanf (2021) Abschlussbericht der Operationellen Gruppe Winterhanf im EIP-Agri Projekt „Von der ökologischen Winterzwischenfrucht zur feinen Faser“: Projektlaufzeit: 10.10.2016 – 09.10.2020, zu finden in <https://www.dvs-gap-netzwerk.de/fileadmin/sites/ELER/Datenbank/DOC_PDF/Abschlussbericht%20Winterhanf_2021.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- 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

- 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]
- Pecoroni D, Peter M (2021) Anlage von Erosionsschutzstreifen: Bodenschutz in Hessen, hg. v. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV), zu finden in <file:///C:/Users/Scholz/Downloads/Anlage_von_Erosionsschutzstreifen_bf.pdf> [zitiert am 22.11.2022]
- 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
- Pollermann K (2025) Evaluierung der Dorf- und Regionalentwicklung im Schwerpunktgebiet 6B: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. (in Vorbereitung)
- 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 18.11.2025]
- Rahmen-RL VNS 2015: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen im Vertragsnaturschutz (Rahmenrichtlinien Vertragsnaturschutz)
- Rahmen-RL VNS 2015: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen im Vertragsnaturschutz (Rahmenrichtlinien Vertragsnaturschutz). RdErl.des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz vom 8.9.2015, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/pdf/rl-vertragsnaturschutz-2015.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- Reiter K, Roggendorf W, Sander A, Scholz J, Schwarze S (2024) Analyse der Inanspruchnahme von ausgewählten Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen und des Ökologischen Landbaus (Akzeptanzanalyse): NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. 5-Länder-Evaluation 3/2024, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2024/3-2024_NRW_Akzeptanzanalyse.pdf> [zitiert am 10.4.2024]
- 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]
- Richtlinien zur Förderung von Agrarumweltmaßnahmen: RL AUM 2022. In: SMBI. NRW., zu finden in <https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=1&gld_nr=7&ugl_nr=7861&bes_id=50290&val=50290&ver=7&sgs=0&aufgehoben=N&menu=0> [zitiert am 18.11.2025]
- 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]
- RL AUM 2015: Richtlinien zur Förderung von Agrarumweltmaßnahmen. Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz II A 4 - 62.71.30 vom 29.Okttober 2015, zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/pdf/rl-aum.pdf>> [zitiert am 16.11.2022]
- RL AUM 2022: Richtlinien zur Förderung von Agrarumweltmaßnahmen (2022), zu finden in <<https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/pdf/rl-aum-2023.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]

RL Investiver Naturschutz-Managementpläne: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendung zur Erhaltung, Wiederherstellung und Verbesserung des kulturellen und natürlichen Erbes und zur Erstellung von Schutz- und Bewirtschaftungskonzepten im Bereich Naturschutz (Richtlinien investiver Naturschutz- Managementpläne) (2015), zu finden in <https://www.brd.nrw.de/system/files/migrated_documents/media/document/2015-12/150715-richtlinien.pdf> [zitiert am 30.11.2022]

RL Ökolandbau 2015: Richtlinien zur Förderung des ökologischen Landbaus

RL Privatwald: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung forstlicher Maßnahmen im Privatwald (2015)

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 18.11.2025]

Roggendorf W, Rorig F, Schwarze S (2026) Beitrag des Programms zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. (in Vorbereitung)

Rorig F (2025) Forstliche Förderung (M4.31, M8.5 und M8.6): Umsetzung, Ergebnisse und Wirkungen: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. 5-Länder-Evaluation 7/2025, zu finden in <https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn069747.pdf>

Sander A, Bathke M (2025) Beitrag des Programms zur biologischen Vielfalt: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. (in Vorbereitung)

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]

Scholz J (2024) Erosionsschutzstreifen - Umsetzung und Wirkungen: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 bis 2022. 5-Länder-Evaluation, zu finden in <https://www.eler-evaluierung.de/fileadmin/eler2/Publikationen/Projektberichte/5-Laender-Bewertung/2024/14-2024_Erosionsschutzstreifen_NRW.pdf> [zitiert am 10.2.2025]

Schwenger Y, Fynn L-L (2025) Beitrag des Programms zum Wasserschutz: NRW-Programm Ländlicher Raum 2014 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 18.11.2025]

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, Hobley EU, Barkusky D, Honermeier B, Kögel-Knabner I, Schmidhalter U, Schweitzer K, Seidel SJ, Siebert S, Sommer M, Vazirabar 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 für 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 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- Sucker C, Puhlmann H, Zirlewagen 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 <<https://www.researchgate.net/publication/257940874> Bodenschutzkalkungen in Wäldern zur Verbesserung der Wasserqualität-Vergleichende Untersuchungen auf Einzugsgebietsebene> [zitiert am 27.11.2009]
- Thünen Institut für Agrarklimaschutz (2015) Treibhausgasemissionen nach Grünlanderneuerung: Bewertung von Grünlanderneuerung und Grünlandumbruch hinsichtlich Atmosphärenbelastung, Gewässerschutz und bedarfsgerechter Düngung., zu finden in <<https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/agrarklimaschutz/projekte/treibhausgasemissionen-nach-gruenlanderneuerung>> [zitiert am 18.11.2025]
- Tiefenbacher A, Sandén T, Haslmayr H-P, Miloczki 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
- Tresch S, Hopf S, Braun S (2022) Pilotprojekt Experimentelle Kalkung von Waldstandorten: Hintergrund und erste Ergebnisse. In: Waldböden – intakt und funktional. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL: pp 65–70 [zitiert am 10.4.2024]
- 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]
- Unseld R, Reppin N, Eckstein K, Zehlius-Eckert W, Hoffman H, Huber T (2011) Leitfaden Agroforstsysteme: Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen, hg. v. TU München, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), zu finden in <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN_Agroforst_Skript.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- Vaupel A, Bednar-Konski Z, Olivera M, Herwig N, Hommel B, Beule L (2024) Perennial flower strips in agricultural landscapes strongly promote earthworm populations. npj Sustain. Agric. 2(1):1–10. doi: 10.1038/s44264-024-00040-2, zu finden in <<https://www.nature.com/articles/s44264-024-00040-2>> [zitiert am 18.11.2025]

- 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/wp-content/uploads/2021/05/11-Humusbilanzierung.pdf>> [zitiert am 24.4.2019]
- 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 (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)
- VO (EU) 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) 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) 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 (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. 1307/2013: Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 des Europäischen Parlaments 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]
- VO (EU) Nr. 2024/1991: 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
- Vos C, Don A, Hobley 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]
- WBW [Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik] (ed) (2021) Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel: Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpoliti, zu finden in <https://www.bundestag.de/resource/blob/897504/03-04_07_2022_oeFG_Gutachten_WBW_Wald.pdf> [zitiert am 18.11.2025]

- Wellbrock N, Bolte A, Flessa H (eds) (2016) Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Braunschweig. Thünen Report 43
- 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 18.11.2025]
- Westerschulte M (2024) Was bringen mir Zwischenfrüchte in der Fruchtfolge? innovation(1):13-15, zu finden in <<https://www.magazin-innovation.de/ausgaben/01-2024/was-bringen-mir-zwischenfruechte-in-der-fruchtfolge>> [zitiert am 18.11.2025]
- Westphal H (2009) Wirkungen und Kosten von Maßnahmen zur Verringerung von Bodenerosion und Stoffaustrag in Gewässer. Untersuchungen im Leineeinzugsgebiet bei Gronau (Niedersachsen). Hannover, zu finden in <<https://edocs.tib.eu/files/e01dh09/606419365.pdf>> [zitiert am 18.11.2025]
- WHG: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) (2018), zu finden in <https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/WHG.pdf> [zitiert am 18.11.2025]
- Wiedermann E, Hübner R, Kilian S, Wiesmeier M (2022) Festlegung von Kohlenstoff in Streuobstwiesen des Alpenvorlands: Nummer 01, hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) [zitiert am 13.9.2025]
- 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, Puhlmann 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 18.11.2025]
- 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 18.11.2025]
- Zirlewagen D, Wilpert Kv (2001) Was hat Waldbau mit Trinkwasservorsorge zu tun? waldwissen.net, zu finden in <<https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/naturschutz/gewaesser/trinkwasservorsorge>> [zitiert am 2.9.2019]

Anhang

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

Humusgruppe und zugeordnete Nutzcodes			
HM1	Erbsen zur Körnergewinnung Gemüseerbsen Platterbse Ackerbohne/Puffbohne/Pferdebohne Wicken (Pannonica, Zottelwicke, Saatwicke) Lupinen Gemenge Erbsen/Bohnen Gemenge Leguminosen/Getreide Linsen (Speise-Linse) Sojabohnen Kichererbsen	HM2	Pufferstreifen ÖVF AL Klee (stickstoffbindend, ÖVF) Kleegras Luzerne Ackergras Klee-Luzerne-Gemisch Klee (nicht stickstoffbindend/ÖVF) Hornklee, Hornschotenklee Esparsette Serradella Steinklee Kleemischung (ohne Bockshornklee) Luzerne-Gras-Mischung Brache mit Honigpflanzen (einjähr.) Brache mit Honigpflanzen (mehrj.) Grassamenvermehrung Klee-/Luzernesamenvermehrung
HM4	Streifen am Waldrand ÖVF Feldrand ÖVF Uferrandstreifenprogramm (DGL) Uferrandstreifenprogramm (AL) Blühstreifen (MSL-Maßnahme) Blühfläche (MSL-Maßnahme) Schutzstreifen Erosion Brache (Blühmischungen) Brachefläche Vertragsnaturs.	HZ1	Futterrübe/Runkelrübe Kohl-/Steckrüben Zuckerrüben
HZ2	Kartoffeln Gemüsekohl (auch Zierkohl) Tomaten Salatgurke (auch Einlegegurke) Zuckermelone (cucumis melo) Riesenkürbis (auch Hokkaido) Gartenkürbis (Zucchini, Zier.) Melone (Citrullus) (Wasserm.) Sellerie (Knollen/Bleich/Stangen)	HZ3	Mais (ohne Zucker-/Silomais) Zuckermais Silomais (als Hauptfutter) Gemüserübe Auberginen Paprika, Chilli, Peperoni Möhre (auch Futtermöhre) Pastinaken Zichorien/Wegwarten Meerrettich Schwarzwurzeln Ringelblumen (Garten-R.) Sonnenhut (Schmalbl., Purpur) Kamillen (Echte Kamille) Malven (Wilde Malve) Strauch-/Bechermalven Sida (Virginiamalve)

Quelle: Eigene Tabelle nach VDLUFA (2014).

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

Humusgruppe HZ4 und zugeordnete Nutzcodes		
Winterhartweizen/Durum	Bibernellen (Anis)	Tulpen (Garten-Tulpe)
Sommerhartweizen/Durum	Kümmel (Echter Kümmel)	Christophskräuter
Winter-Dinkel	Kreuzkümmel	Feldrittersporne
Winterweichweizen	Schwarzkümmel	Scabiosen (Samt, Kugel)
Sommerweichweizen	Koriander	Dahlien (Garten-Dahlie)
Winter-Emmer-/Einkorn	Liebstöckel/Maggikraut	Rhodiola (Rosenwurz)
Sommer-Emmer-/Einkorn	Petroselinum (Petersilie)	Krokusse (Safran, Garten-K.)
Sommer-Dinkel	Basilikum	Hibiskus
Winterroggen	Rosmarin	Wolfsmilch (Weißrand)
Sommerroggen	Salbei (auch Buntschopf)	Löwenmälchen
Winternenggetreide	Borretsch	Garten-Montbretie
Wintergerste	Oregano (Majoran, Dost)	Halskräuter (Blaues Halskraut)
Sommergerste	Bohnenkräuter	Gipskräuter (Schleierkraut)
Winterhafer	Verbenen (Echtes Eisenkraut)	Amerikanisches Pampasgras
Sommerhafer	Lavendel	Kosmeen (Schmuckkörbchen)
Sommernenggetreide	Thymian (auch Gartenthymian)	Nachtkerzen (Diptam)
Wintertriticale	Melissen (Zitronenmelisse)	Nachtkerzen (Gewöhnliche N.)
Sommertriticale	Enziane	Königskerzen (Großblütige K.)
Rispenhirse (Panicum)	Minzen (Pfefferm., Grüne M.)	Kapuzinerkressen
Buchweizen	Artemisia (Wer., Estr., Beif.)	Pfingstrosen (auch Strauch)
Sorghumhirse (Körnersorghum)	Wegeriche (Spitzwegerich)	Schwertlilien (Deutsche S.)
Amarant (Amarant/Fuchsschwanz)	Schafgarben (Gelbe Schafgarbe)	Wiesenknopf (Kl. W., Pimpine.)
Quinoa	Baldriane (Echter Baldrian)	Zieste (Deutscher, Knollen)
Reis im Trockenanbau	Johanniskräuter (ECHTES J.)	Vergissmeinnicht (Wald-Verg.)
Dicke Bohne	Frauenmantel	Portulak
Winterraps	Mariendisteln	Nelken (Bartn., Land/Edel)
Sommerraps	Engelwurzen	Ageratum (Gew. Leberbalsam)
Winterrübsen (auch Rübsamen)	Hanf	Lonas (Gelber Leberbalsam)
Sommerrübsen (auch Rübsamen)	Virginischer Tabak	Kornblumen
Sonnenblumen	Erdbeeren	Veilchen und Stiefmütterchen
Lein (Flachs, Leinsamen)	Brennesseln (Große Brennn.)	Phacelia
Krambe/ Echter Meerrettich	Goldlack	Alpendistel
Leindotter	Einjähriges Silberblatt	Amacrinum
Goldrute (Solidago)	Garten-/ Sommerlevkoje	Begonien
Streptocarpus/Drehfrucht	Kugelamarant (Echter K.)	Calla/Drachenwurz
Iberischer Drachenkopf	Taglilien (Essbare Taglilie)	Glockenblumen (Campanula)
Hauswurz (Sempervivum)	Lilien (Türkenbund)	Schildblume (Chelone)
Knöterich (Persicaria)	Narzissen / Osterglocken	Korischer Nieswurz, Rosen
Silberbrandschopf	Knorpelmöhren (Bischofskraut)	Fingerhut
Topinambur	Hasenohren (rundblättriges H.)	Fuchsien
Gemüserübsen	Seidenpflanzen (Indianer-S.)	Geranien
Brauner Senf (Sareptasenf)	Hyazinthe (Garten-Hyazinthe)	Veronica/Hebe/Ehrenpreis
Senfrauke (Garten-S., Rucola)	Milchstern (Kap-Milchstern)	Anemonen
Gartenkresse	Astern (Sommeraster)	Knollenbegonien
Gartenrettiche	Chrysantheme, Winteraster	Kornrade
Weißen Senf	Strohblumen (Garten)	Taubenkropf-/Leimkraut
Zwiebeln/Lauch	Edelweiß (Alpen-Edelweiß)	Orchideen
Gartenbohne	Margeriten	Pelargonien
Feldsalate (auch Rapunzel)	Rudbeckien (Sonnenhut)	Fetthenne, Mauerpfeffer
Salat (Garten, Lollo Rosso)	Tagetes	Rhizinus
Spinat	Wucherblumen (Mutterkraut)	Ramtillkraut
Mangold, Rote Beete/Rote Rübe	Strandflieder (Geflügelter S.)	Husarenknopf (Sanvitalia)
Fenchel (Gemüse/Körner)	Spreublumen (Einj. Papierbl.)	Hopfen
Gemüserübsen	Zinnien	Aromahopfen
Anethum (Dill, Gurkenkraut)	Taubnesseln (Weiße Taubnessel)	Bitterhopfen
Kerbels (auch Wiesenkerbel)	Gladiolen (Gartengladiole)	Pflanzenmischung mit Hanf

Quelle: Eigene Tabelle nach VDLUFA (2014).