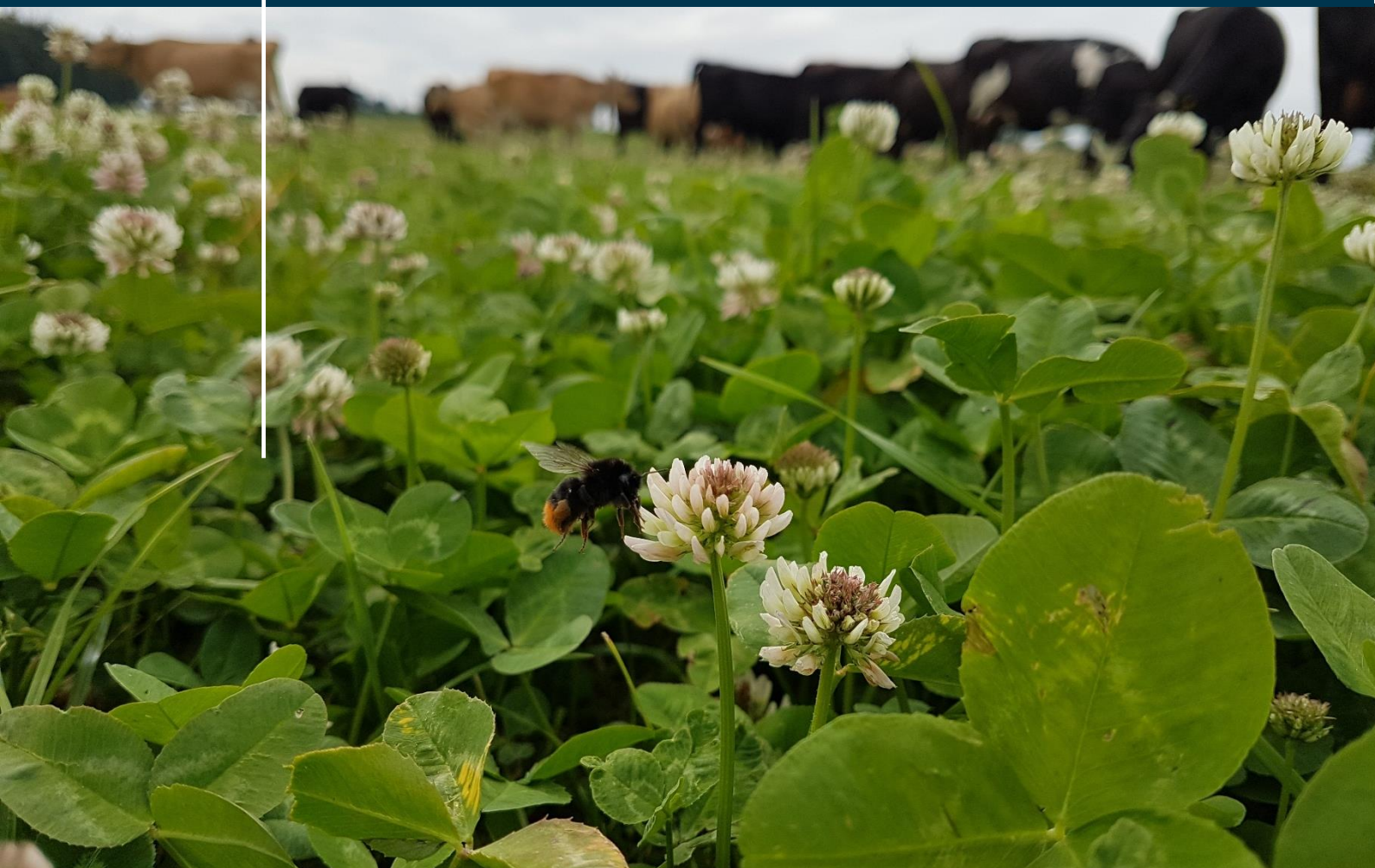


STUDIE:
DAUERGRÜNLAND FÜR LEBENSMITTELERZEUGUNG,
NATUR- UND KLIMASCHUTZ IN WERT SETZEN

Mai 2026 26/02



Impressum

Herausgeber

Wissenschaftlicher Beirat für Natürlichen Klimaschutz

Geschäftsstelle beim Bundesamt für Naturschutz

DLR Projektträger

Heinrich-Konen-Str. 1

53227 Bonn

Telefonnummer: +49 228 3821 2900

E-Mail: WBNK-GS@dlr.de

Autorinnen und Autoren

Professor Dr. Friedhelm Taube

Zitiervorschlag

Taube, F. (2026). Dauergrünland für Lebensmittelerzeugung, Natur- und Klimaschutz in Wert setzen. Studie 26/02 im Auftrag des Wissenschaftlichen Beirats für Natürlichen Klimaschutz (WBNK).

ISBN 978-3-949245-51-0

Stand

Mai 2026

Bildnachweis

Titelbild: Dr. Henriette Beye

Das vorliegende Gutachten wird im Namen des WBNK veröffentlicht. Es wurde jedoch nicht vom WBNK selbst verfasst; die inhaltlichen Aussagen und Bewertungen liegen in der Verantwortung der Autorinnen und Autoren und spiegeln nicht notwendigerweise die Positionen des WBNK wider.

DAUERGRÜNLAND
für
Lebensmittelerzeugung,
Natur- und Klimaschutz
in Wert setzen

Gutachten im Auftrag des WBNK – AG Mineralische Böden

Prof. Dr. Friedhelm Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU)

April 2026

Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	4
Zusammenfassung	7
Einleitung.....	10
Modul 1: Stand des Wissens zur aktuellen Nutzung des Dauergrünlands in Deutschland und deren Wirkung auf Treibhausgase, Biodiversität und Nahrungsmittelerzeugung (Milch, Fleisch).....	12
1.1 Übersicht über Flächenanteile des Grünlands in Deutschland unter Berücksichtigung der Trends, der Agrarklimaräume und der Trends in der Tierhaltung	12
1.1.1 Was ist Grünland?.....	12
1.1.2 Dauergrünlandflächen und Trends	15
1.1.3 Nutzungsart und -intensität des Dauergrünlands	17
1.2 Grünland und Milcherzeugung.....	21
1.2.1 Beziehungen zwischen Milchleistung und Grünlandnutzung.....	26
1.2.2 Der Konflikt zwischen Dauergrünland-Produktivität und Phyto-Diversität	27
1.2.3 Konsequenzen steigender Herdengrößen und Milchleistungen für das Dauergrünland	29
1.2.4 Landnutzungseffizienz und Umwelteffekte der Trends in der Milcherzeugung	31
1.2.5 Landnutzungswandel – Rezente Dauergrünland-Verlusteffekte auf den ökologischen Fußabdruck der Milcherzeugung.....	32
1.2.6 Bodenkohlenstoff und Umwelt – relevante Emissionen der intensiven Grünlandnutzung.....	34
1.2.7 Systemebene Milcherzeugung Deutschland: Wie werden Landnutzungseffizienz (LUE), Leistungen und Ökoeffizienz in Abhängigkeit der Dauergrünland-Nutzung beeinflusst?	38
1.2.7.1 Landnutzungseffizienz	38
1.2.7.2 Umweltbelastungen der aktuellen Milcherzeugungssysteme mit reaktiven Stickstoff- und Phosphorverbindungen	42
1.2.7.3 Der Product Carbon Footprint (PCF) der Milch als Teil des Life Cycle Assessment (LCA).....	45
1.3 Status des Dauergrünlands jenseits der Milcherzeugung – was ist „extensives“ Grünland?.....	46
1.3.1 Exkurs: Aktuelle Systeme der Rindfleischerzeugung	51
1.3.2 Biotop-Grünland/HNV-Flächen.....	54

Modul 2: Optimierungspotenziale bzgl. Biodiversität und Klimaschutz unter zukünftigen Rahmenbedingungen: weniger Milch- und Fleischkonsum und mehr stoffliche Nutzung.	57
2.1 Vorüberlegungen	57
2.2 Mehr Rinder als Grünlandnutzer bis 2045: Welche Optionen gibt es?	58
2.3 Was tun, wenn bis 2045 weder genügend Tiere zur Grünlandnutzung bereitstehen noch überzeugende Optionen der Bio-Ökonomie?	59
2.4 Grundlinien einer zukünftigen Grünlandnutzung im Sinne des ANK	60
2.4.1 Programm „Grünlandmilch“	61
2.4.2 Grünlandmilchförderung - Assoziierte Maßnahmen.....	64
2.4.3 Programm „Grünland-Färsenfleisch“ – als Koppelprodukt der Milcherzeugung.....	65
2.4.4 Ausgestaltung einer „Grünlandmilchförderung“ – Investive Maßnahmen – ANK-NABO	68
2.4.5 „Wilde Weiden“ und mehr.....	69
2.4.6 Bio-Ökonomie	71
2.4.7 Mob grazing	72
Modul 3: Synthese	73
Literatur	78

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Darstellung 1: Entwicklung der Dauergrünlandflächen.....	14
Darstellung 2: Absolute Veränderung der Landwirtschaftsfläche zwischen 1990 u. 2010	17
Darstellung 3: Anteil DGL-LF, Raufutter fressenden GV/ha sowie Niederschlagssumme...	20
Darstellung 4: Regionale Verteilung der Milcherzeugung	22
Darstellung 5: Veränderung der DGL-Flächenanteile in den Bundesländern	23
Darstellung 6: Flächenkosten und Nutzungshäufigkeiten	24
Darstellung 7: Milchleistungsentwicklung in den Bundesländern u. Bestandsgrößen	25
Darstellung 8: Milcherzeugungsverfahren und Auswirkungen auf den Anteil von Grünlandfutter..	30
Darstellung 9: N-Bruttosaldo der Milchviehbetriebe	43
Darstellung 10: Funktionstypen des Grünlandes.....	47
Darstellung 11: Teilnehmende Betriebe an der Ökoregel 4	50
Darstellung 12: Teilnehmende Betriebe an der Ökoregel 5	50
Darstellung 13: THG-Fußabdrücke für verschiedene Nahrungsmittel	52
Darstellung 14: Rationsbedarf der Masttiere der Rindermast in Schleswig-Holstein.....	53
Darstellung 15: Zusammensetzung der deutschen Rindfleischproduktion 2024.....	54
Darstellung 16: Anteile des HNV-Grünlands an der Dauergrünlandfläche.....	55
Darstellung 17: HNV-Flächenanteile nach Viehbesatz.....	56

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
ANK	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz
ANK-NABO	Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz – Natürliche Bodenfunktionen
A&E-System	Agrar- und Ernährungs-System
AMK	Agrarministerkonferenz
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNPP	Below ground net primary productivity
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
bzw.	Beziehungsweise
C	Kohlenstoff
CCS	Carbon Capture and Storage
CH ₄	Methan
Cl	Chlor
CO ₂ eq	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
DAFA	Deutsche Agrar-Forschungsallianz
DGL	Dauergrünland
d. h.	das heißt
DüV	Düngeverordnung
DVL	Deutscher Verband für Landschaftspflege
DW	Deutsches Weidelgras

ECM	Energy Corrected Milk (energiekorrigierte Milch)
ebd.	ebenda
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
eFCR	edible Feed Conversion Ratio (Nahrungsmittel-Konvertierungs-Verhältnis)
<i>et al.</i>	und andere
etc.	et cetera
ETS	Emission Trading System
EU	Europäische Union
fBNPP	fraction of net primary production allocated belowground
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FCE	Forage Conversion Efficiency (Futterverwertungseffizienz)
FFH-Richtlinie	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GAPDZV	GAP-Direktzahlungen-Verordnung
GAPKondG	GAP-Konditionalitäten-Gesetz
GAPKondV	GAP-Konditionalitäten-Verordnung
gfP	gute fachliche Praxis
GLÖZ	guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand (Standards der GAP)
GV	Großvieh
ha	Hektar
HE	Hessen
HF	Holstein Friesian
HFF	Hauptfutterfläche
HNV	High Nature Value (Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert)
i. d. R.	in der Regel
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
K	Kalium
KF	Konzentratfutter
kg	Kilogramm
KI	Künstliche Intelligenz
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
LF	Landwirtschaftliche Fläche
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LG	Lebendgewicht
LKE	Lebensmittelkonversionseffizienz
LKSH	Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
LRT	Lebensraumtypen (gem. FFH-Richtlinie)
LUC	Land Use Change
LUE	Landnutzungseffizienz
ME	umsetzbare Energie
MJ	Megajoule
MLF	Milchleistungsfutter
MAOM	Mineral-Associated Organic Matter
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MV	Mecklenburg-Vorpommern
N	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)

NABU	Naturschutzbund Deutschland
NCS	Natural Climate Solutions
NEE	Net Ecosystem Exchange (Netto-Ökosystemaustausch)
NECB	Net Ecosystem Carbon Budget (Netto-Ökosystemkohlenstoffbilanz)
NEL	Netto-Energie-Laktation
NI	Niedersachsen
NTH	Nahrungsmittel tierischer Herkunft
NUE	Nitrogen Use Efficiency (Nährstoffnutzungseffizienz)
NW	Nordrhein-Westfalen
P	Phosphor
p. a.	per annum (jährlich)
PCF	Product Carbon Footprint
POM	partikuläre organische Substanz
pDGL	potenzielles Dauergrünland
pNdfa	proportion of N derived from air
PV	Photovoltaik
oDGL	ordentliches Dauergrünland
ÖR	Öko-Regelung
rel.	relativ
RGV	Raufutter verzehrende Großvieheinheit
sDGL	umweltsensibles Dauergrünland
SG	Schlachtgewicht
SH	Schleswig-Holstein
SOC	Soil Organic Carbon (organischer Bodenkohlenstoff)
SON	Soil Organic Nitrogen (organisch gebundener Stickstoff)
SVG	Selbstversorgungsgrad
t	Tonne
THG	Treibhausgas
TI	Thünen-Institut
TM	Trockenmasse
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
u./o.	und/oder
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
vgl.	vergleiche
v. a.	vor allem
WBAE	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Das Dauergrünland (DGL) in Deutschland stellt mit etwa 4,3 Mio. ha knapp 30 % der landwirtschaftlichen Fläche (LF) dar. Prämienberechtigt nach InVeKoS sind etwa 3,1 Mio. ha, von denen wiederum etwa 1 Mio. ha auf organischen Böden lokalisiert ist. Gegenstand des vorliegenden Gutachtens sind Status und Entwicklungsperspektiven des Dauergrünlands auf mineralischen Böden insbesondere in Bezug auf das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK). Das Gutachten ist modular aufgebaut: Nach einer Statusanalyse der Leistungen des Dauergrünlands im Sinne des ANK im Modul 1 erfolgt im Modul 2 die Herleitung von Optimierungsmöglichkeiten der Dauergrünland-Nutzung, bevor im Modul 3 eine Synthese im Hinblick auf die Realisierung der Optimierungsvorschläge erfolgt.

Die Nutzung des in Rede stehenden Dauergrünlands erfolgt weitestgehend zur Milch- und Rindfleisch-Erzeugung. Die Intensität der Bewirtschaftung variiert in weiten Bereichen. Von der Gesamtheit der 3,1 Mio. ha wird etwa die Hälfte der Flächen hoch intensiv zur Futtererzeugung für Milchkühe bewirtschaftet, während die andere Hälfte dem mesophilen Dauergrünland zuzuordnen ist, wenn die Beteiligung der landwirtschaftlichen Betriebe an den entsprechenden Ökoregeln 4-5 zugrunde gelegt wird. Etwa 200.000 ha sind als Dauergrünland-Flächen mit hohem Naturschutzwert (HNV) geführt.

Dauergrünland erbringt wesentliche Ökosystemleistungen im Sinne des ANK: Mineralböden unter Grünland speichern je nach Bodenverhältnissen 15-30 Tonnen mehr Kohlenstoff als vergleichbare Ackerstandorte, wobei ein Equilibrium (90 % von max. Niveau) etwa nach 30-50 Jahren erreicht ist; die wesentliche Aufbauleistung nach einer Dauergrünland-Neuanlage erfolgt in den ersten 20-30 Jahren. Der Klimawandel vermindert diese Ökosystemleistung dahingehend, dass die Dauergrünland-Nutzung in temperierten Klimaten zukünftig vornehmlich dem Erhalt und nicht der Steigerung des erreichten Niveaus dienen wird. Die Intensität der Bewirtschaftung beeinflusst den Status und die Funktionalität des organischen Kohlenstoffs im Boden ebenfalls und zwar dahingehend, dass N- und C-Zufuhr in weiten Bereichen positiv wirken, aber offensichtlich keine lineare Beziehung besteht und insbesondere unter Berücksichtigung der CO₂- Herstellungskosten des mineralischen N-Düngers semi-intensive leguminosenbasierte Systeme günstige resiliente Lösungen darstellen, die auch die Biodiversitätsfunktion unterstützen.

Neben den direkt adressierten Effekten im ANK (Klimaschutz durch Bodenkohlenstoffspeicherung; Biodiversität) sind zur Gesamtwertschätzung der Ökosystemleistungen des Dauergrünlands (die notwendigerweise auch seitens des ANK zu berücksichtigen sind, um Synergien zu nutzen und *Spillover*-Effekte zu vermeiden) weitere Ökosystemfunktionen/-leistungen zu würdigen: die Wasserschutzfunktion (Filterfunktion-Vermeidung von Nährstoffausträgen (N und P) und die Bereitstellung von Biomasse, Futterenergie und -eiweiß ohne Landnutzungskonkurrenz um weltweit knappe Ackerflächen.

Trotz dieser Leistungen steht das Dauergrünland sowohl im Intensiv-Nutzungsbereich zur Milcherzeugung als auch in extensiven Systemen zur Fleischerzeugung unter Druck: Im intensiven Bereich deshalb, weil sich die Milcherzeugungssysteme tendenziell in Richtung weiterer Intensitätssteigerungen – ausgedrückt in der Milchleistung/Kuh mit vermehrtem Einsatz von Ackerfutter und weniger Grünlandfutter (insbesondere Weidefutter) – entwickeln, bei gleichzeitig hohen Spezialisierungsgraden mit der Konsequenz zunehmender Landnutzungskonkurrenz um weltweit knapper werdende Ackerflächen für die Humanernährung, hohen Nährstoffüberschüssen, geringen Biodiversitätsleistungen und verminderter C-Sequestrierungsleistung durch zu hohe N-Intensitäten und hohe Silomaisanteile in der Futtermischung. Solche Systeme können durchaus mit niedrigen *Product Carbon Footprints* (PCF) der Milcherzeugung verbunden sein, verletzen aber die Zielwerte der weiteren Umweltindikatoren und erhöhen die relative Landnutzungskonkurrenz um knappe Ackerflächen. Diese Landnutzungskonkurrenz kann quantitativ als Lebensmittelkonversionseffizienz (LKE = humanernährungstauglicher Output/humanernährungstauglicher Input auf Basis von Energie- und Proteineinheiten) ausgedrückt werden (im Englischen: eFCR). Es gibt somit Zielkonflikte, die im Einzelfall ein „Indikatoren-Ranking“ bzw. grundsätzlich Kompromisslinien erforderlich machen. Im Sinne des ANK und darüber hinaus ist vor diesem komplexen Hintergrund ein Paradigmenwechsel hin zu einer „*semi-intensiven Dauergrünland-Milcherzeugung*“ geboten mit Mindestanteilen von Grünlandfutter in Futtermischung der Milchkuh in der Größenordnung von 70 % der Trockenmasse. Dies schließt gewisse Anteile an temporärem Grünland/Kleegrass ein. Förderprogramme können sich an vermiedenen gesellschaftlichen Kosten orientieren. Es wird empfohlen, eine Inwertsetzung dieser so erzeugten Milcherzeugnisse über die Summe der genannten Umweltindikatoren inklusive der vermiedenen Landnutzungskonkurrenz um Ackerfläche in der Milchindustrie und nachfolgend im Handel jenseits des Product Carbon Footprint zu etablieren, da letzterer allein ein unvollständiges Bild ergibt. Und schließlich ist eine Anpassung des ordnungsrechtlichen Rahmens dahingehend geboten, dass die Reduktion der Umweltkosten in Form hoher Stickstoff- und Phosphorüberschüsse in den aktuellen spezialisierten Systemen der Milcherzeugung gewährleistet wird.

Die eher extensive Dauergrünland-Nutzung steht unter Druck, weil die Fleischerzeugung vom Dauergrünland derzeit kaum ökonomisch darstellbar ist und vornehmlich über Transferzahlungen realisiert wird. In Verbindung mit einem erwarteten weiter deutlich abnehmenden Rinderbestand in Deutschland wird die Aufrechterhaltung der Dauergrünland-Nutzung in vielen Mittelgebirgsregionen zu einer Herausforderung. Das Gutachten unterstellt, dass die Kombination aus der zu erwartenden Wiedervernässung eines hohen Anteils der organischen Böden sowie die weitere Reduktion der Milchviehbestände durch Leistungssteigerungen zu einem Abbau der Rinderbestände in einer Größenordnung führen wird, die jenseits der Zielgrößen zur Reduktion der THG-Emissionen aus der Rinderhaltung liegen dürfte (wie sie zum Beispiel von Grethe *et al.* (2021) skizziert wird) und so in einem Szenario in Richtung klimaneutrales Deutschland 2045 gewisse Potentiale der angepassten Fleischerzeugung vom Dauergrünland ermöglicht werden, die – auf niedrigerem Niveau als aktuell – als ein Beitrag zur strategischen Autonomie im Sinne der

nationalen Selbstversorgung mit Lebensmitteln tierischer Herkunft verstanden werden können. Solche Mastverfahren unterscheiden sich jedoch drastisch von aktuellen Mustern der Intensivmast mit Maissilage, indem sie als reines Koppelerzeugnis der Milcherzeugung verstanden werden und auf multifunktionalen Hybridsystemen beruhen („Grünlandfleisch“), die die LKE erhöhen, Tierwohl- und Biodiversitätsleistungen erfüllen und dies mit akzeptablen Product Carbon Footprints verbinden. Es wird das Modell eines Färsenmastprogramms diskutiert, das in der Lage sein kann, mittelfristig bis zu 700.000 ha Dauergrünland auf diese Weise zu verwerten. Dies dient gleichermaßen als komplementäres Angebot zur wenig klimaeffizienten Rindfleischerzeugung aus Mutterkuhhaltungssystemen ebenso wie als Alternative zur inakzeptablen Mais-Intensivmast aufgrund geringer LKE. Verschiedene Umsetzungsoptionen/Förderungen im Sinne des ANK werden ebenso diskutiert wie notwendige Rahmenbedingungen zur Erhaltung und Steigerung des naturschutzfachlichen Wertes extensiver Grünlandnutzungssysteme. Dort gilt es, insbesondere größere zusammenhängende Flächeneinheiten zu schaffen, um einen Biodiversitätsmehrwert auf Landschaftsraumbene zu erreichen. Entsprechende Optionen der „halb-offenen Weidelandschaften“ in weit größerem Maßstab als bisher werden diskutiert. Und schließlich wird auch angeregt, jenseits des aktuellen rechtlichen Rahmens, unter bestimmten Voraussetzungen die Weiterentwicklung des Dauergrünlandstatus im Sinne von ‚Aufwertung gegen Umwandlung‘ zu diskutieren: dort, wo die Erhaltung des Dauergrünlands aufgrund des Mangels an Weidetieren mittelfristig perspektivlos erscheint, sind auf Landschaftsraumbene planerische Modelle der Kombination aus naturschutzfachlicher Aufwertung von bestehenden Dauergrünlandflächen mit hohem Naturschutzpotential einerseits und der Umwidmung von sukzessionsgefährdeten Dauergrünlandflächen andererseits vorzudenken.

Einleitung

Das Dauergrünland (DGL) in Deutschland unterliegt seit jeher einem Wandel in Flächenumfang und Bewirtschaftungsintensität und erfüllt vielfältige Ökosystemleistungen (vgl. DAFA, 2015). Global, europäisch und national steht das Dauergrünland jedoch seit mehr als 5 Jahrzehnten im Flächenumfang und im Hinblick auf eine angemessene Bewirtschaftung unter Druck (Bardgett *et al.*, 2021). Überweidung und Degradierung des natürlichen Graslands und die deutlich zunehmende Umwandlung dieses Graslandes in Ackerland, insbesondere seit Beginn der 1990er Jahre durch die Möglichkeiten der pfluglosen Bodenbearbeitung in Verbindung mit dem Einsatz von nicht selektiven Herbiziden, haben jährliche Verluste an Dauergrünland in der Größenordnung von 0,2 Mio. km² zur Folge gehabt, während die Ackerflächen moderat zunahm (FAO, 2022; Li *et al.*, 2026; Kan *et al.*, 2026). Andere Arbeiten gehen von einem noch weit höheren Verlust an weltweitem Grünland aus (Winkler *et al.*, 2021). Das Phänomen der Umwandlung von Grünlandflächen zu Ackerflächen wird seit 50 Jahren gleichermaßen durch Bevölkerungswachstum und durch den globalen Agrarhandel getrieben und vor diesem Hintergrund wird dieser Druck auf das Grünland weiter bestehen. Die Europäische Union hat diesem Trend, der auch für das Dauergrünland in temperierten Klimaten zutrifft, mit dem Schutz des Dauergrünlands mit der GAP-Reform 2013 (Regulation 1307/2013) gewissen Einhalt geboten mit dem Ziel, die Ökosystemleistungen des Grünlands jenseits der Marktleistungen zu würdigen. Gleichwohl hat die Intensivierung der Dauergrünland-Bewirtschaftung in diesem Zeitraum zu einem erheblichen Verlust der Multifunktionalität des Dauergrünlands in Europa beigetragen (Schils *et al.*, 2022). Während der Dauergrünland-Verlust weltweit somit in den letzten 50 Jahren in erheblichem Umfang als Puffer für die Stabilisierung des weltweiten Ackerflächenumsfanges diente, wird diese Option in Zukunft an Bedeutung verlieren, weil derzeit mit dem Savannengrasland in Afrika das letzte große Graslandbiom einen Landnutzungswandel erfährt, nachdem die Cerrado und die Pampa in Südamerika zu sehr großen Anteilen einer ackerbaulichen Nutzung zugeführt worden sind.

Wenn im Sinne des Aktionsprogramms natürlicher Klimaschutz (ANK) Perspektiven für das Dauergrünland in Deutschland herzuleiten sind, dann sind diese oben skizzierten durch Bevölkerungswachstum und Weltagrarhandel getriebenen Entwicklungen ebenso zu berücksichtigen wie die planetaren Grenzen im Hinblick auf die notwendigen Maßnahmen zum Klimaschutz, zum Erhalt der Biodiversität und zur weiteren Reduktion der Eutrophierung durch reaktive Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Ein Maßnahmenprogramm für das Dauergrünland sollte somit immer diesen Mehrklang berücksichtigen, muss so genannte *Leakage*-Effekte bezüglich der Wirkungen auf die Landnutzungskonkurrenz um knapper werdende Ackerflächen ebenso im Blick haben wie mögliche *Spillover*-Effekte bezüglich unterschiedlicher Umweltwirkungsverlagerungen und sollte somit insbesondere synergistisch wirkende Maßnahmen herausarbeiten, die gleichermaßen Wirkungen im natürlichen biologischen Klimaschutz und die Akzeptanz der Landnutzer:innen gewährleisten. Dies ist ein Prozess, der nicht kurzfristig zu Ergebnissen führt, entsprechend ist es der Anspruch des hiermit vorgelegten Gutachtens, im Sinne des ANK

notwendige Maßnahmen zeitnah einzuleiten, um eine umfängliche Wirkung innerhalb der nächsten 20 Jahre zu realisieren. Dies korrespondiert mit dem Zieljahr der Klimaneutralität in Deutschland, es korrespondiert aber auch mit dem Zeitrahmen des erwarteten Maximums der Weltbevölkerung.

Vor diesem zeitlichen Hintergrund (20 Jahre) sind die gesetzten Rahmenbedingungen, die die globale Nachfrage nach Nahrungsmitteln tierischer Herkunft (Milch und Fleisch) betreffen und die wesentlich vom Grünland kommen, zu berücksichtigen (FAO, 2018). Dasselbe gilt für die Modelle, die sich mit Aspekten der zirkulären Wirtschaft auf der Ebene der EU (Agora 2025; 2026a; Hoogstra *et al.*, 2024) oder der Transformation des Agrar- und Ernährungssystems (A&E-System) hin zu einem stärker pflanzenbasierten Konsum von Nahrungsmitteln (Simon *et al.*, 2024) befassen. Da in diesem Gutachten vornehmlich das Dauergrünland auf Mineralböden behandelt wird, sind auch die prominent diskutierten Ziele der Wiedervernässung der organischen Böden bzw. des Moorschutzes zu berücksichtigen, die mehr als 1 Mio. ha Dauergrünland in Deutschland betreffen. Wird unterstellt, dass diese Flächen aufgrund der vergleichsweise geringen CO₂-Vermeidungskosten in den nächsten 20 Jahren in weiten Teilen aus der klassischen landwirtschaftlichen Produktion zur Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft (NTH) genommen werden (vgl. Agora, 2026a), verändert dies die Bedeutung des verbleibenden Dauergrünland u. a. für die Tierhaltung erheblich. Und schließlich gilt es zu berücksichtigen, dass Landnutzungswandel des Grünlands hin zu klimaeffizienten Nutzungen auch eine Option sein können, insbesondere dann, wenn z. B. entweder keine wirtschaftliche Nutzung der Flächen mehr darstellbar wäre oder mit anderen Landnutzungen (jenseits der Wiedervernässung der organischen Böden) langfristig höhere Leistungen im Sinne des ANK gewährleisten wären.

Vor diesem Hintergrund wird zunächst im Modul 1 der Stand des Wissens dargelegt, im Modul 2 werden Vorschläge von Maßnahmen im Sinne des ANK hergeleitet und im Modul 3 werden diese Ansätze zusammengeführt.

Zu erwähnen ist, dass dieses Gutachten unter Einbeziehung einer deutschlandweiten Expert:innen-Befragung erstellt worden ist. Diese Befragung diente dazu, die aus Sicht der vornehmlich landwirtschaftlichen Beratung erwarteten Trends der Grünlandbewirtschaftung für die Milch- und Fleischerzeugung ebenso wie für mögliche Optionen der Bioökonomie zu berücksichtigen. Derartige Einschätzungen sind u. a. notwendig, um die notwendigen finanziellen Anreize zu quantifizieren, zu denen Landbewirtschafter:innen den vorgeschlagenen Maßnahmen folgen würden, solange kein ordnungsrechtlicher Rahmen entsprechende Vorgaben macht. Die detaillierten Ergebnisse dieser Befragung werden in einem separaten Papier zeitnah publiziert.

Modul 1: Stand des Wissens zur aktuellen Nutzung des Dauergrünlands in Deutschland und deren Wirkung auf Treibhausgase, Biodiversität und Nahrungsmittelerzeugung (Milch, Fleisch)

1.1 Übersicht über Flächenanteile des Grünlands in Deutschland unter Berücksichtigung der Trends, der Agrarklimaräume und der Trends in der Tierhaltung

Eine nachvollziehbare Herleitung der Potenziale des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK, 2023) für das Grünland dokumentiert nach einer Definition verschiedener Grünlandkategorien zunächst den aktuellen Stand der Dauergrünlandflächen in Deutschland im Zeitablauf, klassifiziert dann diese Flächen unter Berücksichtigung repräsentativer Agrarklimaräume und charakterisiert schließlich diesen aktuellen Stand im Kontext der damit assoziierten Tierhaltung und Wertschöpfung.

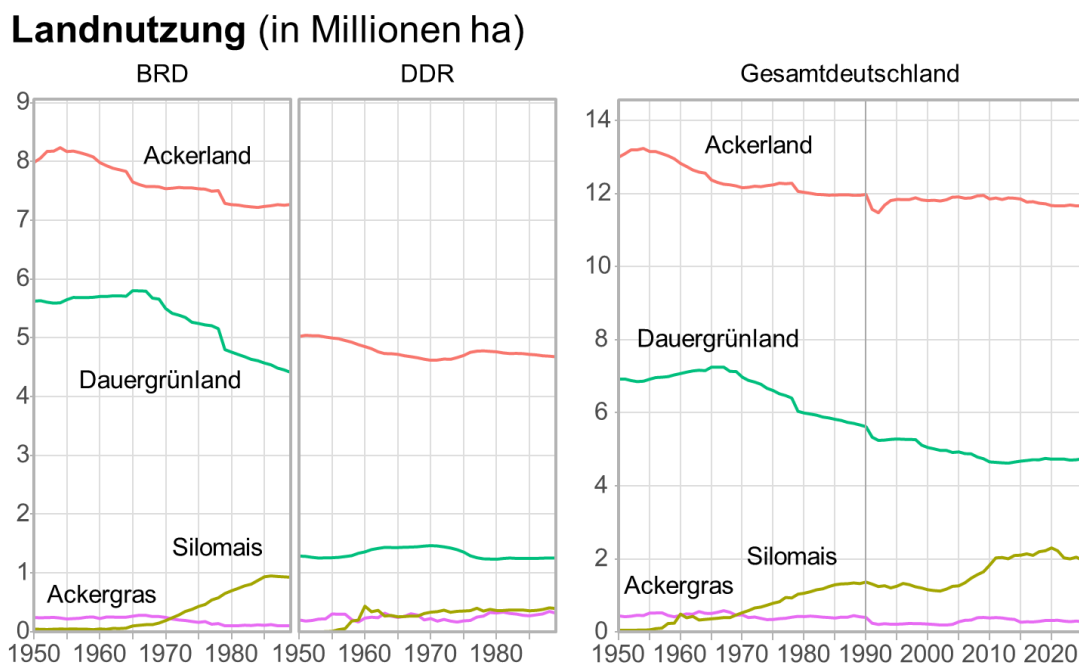
1.1.1 Was ist Grünland?

Der Terminus Grünland (Synonym: Grasland) als Oberbegriff umfasst hinsichtlich der Anbaudauer und Nutzungscharakteristika auf Basis der wissenschaftlichen Literatur aus den 1960-1980er Jahren nach Klapp (1971) und Voigtländer und Jacob (1987) die Kategorien Dauergrünland und Wechselgrünland/Feldgraswirtschaft. Das Wechselgrünland ist definiert als ein Oberbegriff für temporäres Grünland (im Englischen: *ley farming*), das – historisch hergeleitet – entweder den zeitlich dominierenden Teil in einer Fruchtfolge ausmacht (z. B. Egartwirtschaft im kontinentalen Klima: 3-5 Jahre) oder aber den zeitlich kürzeren Anteil in einer Fruchtfolge einnimmt und dann im maritimen Klimaraum als Feldgraswirtschaft bezeichnet wird (Anbaudauer in der Regel 2-3 Jahre). Wechselgrünland in Form des zwei- bis dreijährigen Klee-grasanbaus war der Auslöser der ersten „grünen Revolution“ in der europäischen Landwirtschaft, indem es die Brache ersetzte und so maßgeblich zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit seit dem 18. Jahrhundert beigetragen hat. Ausgehend von England erlebte dieses System nach 1945 für etwa 20 Jahre noch einmal einen gewissen Aufschwung, weil damit positive Koppelleffekte wie Stickstoff- und Humuszufuhr über Klee-grasmischungen, herbizide Effekte durch Unkrautunterdrückung und reduzierte Maschinenkosten durch den mehrjährigen Anbau verbunden waren, bevor mit zunehmender Mechanisierung und dem zunehmenden Einsatz der mineralischen Stickstoffdüngung ab den 1960er Jahren in Verbindung mit dem Zuchtfortschritt bei Silomais die Wechselgrünlandwirtschaft weitgehend zugunsten des Dauergrünlands (maximale Ausdehnung in den 1970er Jahren) einerseits und zugunsten annueller Ackerfütterkulturen (Mais) andererseits marginalisiert wurde. Die Definition von Dauergrünland ist vielschichtig und unterliegt einer gewissen zeitlichen Dynamik: Sie erfolgt zunächst nach wissenschaftlich-botanischen Maßstäben oder – für die Landnutzer:innen relevant – in der Umsetzung auch nach politisch-/statistischen Maßstäben im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). Nach wissenschaftlich botanischen Maßstäben wird Dauergrünland durch sogenannte Pflanzengesellschaften geprägt. Pflanzengesellschaften sind – im

Gegensatz zu Grünlandbeständen, die in ihrer Zusammensetzung zunächst allein durch die Aussaatmischung der Arten oder Reinsaaten (Monokulturen) determiniert sind, wie für das Wechselgrünland beschrieben – in der Stetigkeit und Systematik ihrer botanischen Zusammensetzung das Ergebnis von Klima, Ressourcenverfügbarkeit am Standort und Störungshäufigkeit/Nutzungsintensität. Ausgehend von einer Grünlandneuansaat dauert es etwa 5-7 Jahre, bis die genannten Steuerungsgrößen dazu führen, dass aus einem durch die Saatmischung in der botanischen Zusammensetzung geprägten „Grünlandbestand“ eine Artenzusammensetzung hervorgeht, die durch die jeweiligen standörtlichen Habitatfilter als Grünlandgesellschaft bezeichnet wird. Der Habitatfilter beschreibt dabei die Gesamtheit der abiotischen und biotischen Umweltfaktoren, die aus dem regional verfügbaren Artenpool diejenigen Pflanzenarten „herausfiltern“, die an einem konkreten Standort konkurrenzfähig wachsen können.

Nach Definition im Rahmen der GAP sind laut Destatis (2025) Dauergrünland-Flächen solche, die seit mindestens fünf Jahren ohne Unterbrechung als Wiese (Schnittnutzung), Weide, oder als Kombination von beidem (Mähweide) genutzt werden. Eine Pflugnutzung unterbricht diese Nutzung und verhindert, dass aus Ackerland Dauergrünland wird. Die Nutzung dieser Flächen dient laut Destatis der Futtergewinnung für Tiere und der Sicherung der Biodiversität (ebd.). Im Detail gelten aktuell nach § 7 der Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung – GAPDZV) Flächen als Dauergrünland, die auf natürliche Weise durch Selbstaussaat oder durch Aussaat zum Anbau von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen etabliert wurden. Danach sind auch solche Flächen im 6. Jahr Dauergrünland, die nur in wenig regelmäßigen Abständen ohne eine Futternutzung gemulcht werden. Einzelheiten sind in den Vorgaben für einen guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ-Standards) geregelt: u. a. in GLÖZ 1, Erhaltung von Dauergrünland; GLÖZ 2, Schutz von Feuchtgebieten und Torfflächen; GLÖZ 9, Verbot der Umwandlung oder des Umpflügens von Dauergrünland, das als umweltsensibles Dauergrünland in Natura 2000-Gebieten definiert ist. Bei Flächen mit dem Status „umweltsensibles Dauergrünland“ (sDGL) handelt es sich um Dauergrünland, das bereits am 01.01.2015 den Dauergrünland-Status hatte und in einem „Natura 2000“-Gebiet (FFH- und Vogelschutzgebiet) gelegen ist (§ 12 Abs. 1 des Gesetzes zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Gesetz – GAPKondG)). Für dieses Dauergrünland gilt nach wie vor ein absolutes Umwandlungs- sowie Pflugverbot (GLÖZ 9). Jegliche manuelle Zerstörung der Grasnarbe ist dort verboten. Erlaubt ist lediglich eine leichte Bodenbearbeitung zur Erneuerung des Grasbestandes sowie für die Aussaat oder Düngung mit Schlitzverfahren oder jede vergleichbare flache, nicht wendende Maßnahme der Bodenbearbeitung (§ 7 Abs. 5 Satz 2 GAPDZV). Eine zur Erneuerung der Grasnarbe beabsichtigte Maßnahme ist gemäß § 20 Abs. 1 der Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung – GAPKondV) anzuzeigen (vgl. z. B. Agrarförderung Niedersachsen, 2025). Das oben klassifizierte Wechselgrünland und der mehrjährige Ackerfütterbau werden in der Agrarverwaltung mit den Nutzungscodes 422 (Kleegras), 424 (Ackergras), 428 (Wechselgrünland) und 433 (Luzerne-Gras)

versehen und unter dem Oberbegriff/Status „potenzielles Dauergrünland“ (pDGL) geführt. Erfolgt fünf Jahre in Folge auf einer Fläche eine potenzielle Dauergrünland-Nutzung ohne Anzeige des Pflügens (vgl. Ziffer 3), erhält die Fläche den Status „ordentliches Dauergrünland“ (oDGL) und darf ebenfalls nur mit Genehmigung umgewandelt werden. Aktuell sind im Zuge der Neugestaltung der GAP-Regelungen Überlegungen in der Diskussion, nach denen nationalstaatliche Flächen, die am 01.01.2026 den Ackerstatus haben, diesen Status beibehalten können, auch wenn auf dieser Fläche Grünland neu etabliert und länger als fünf Jahre als solches genutzt wird. Dies würde bedeuten, dass sich diese Flächen zwar botanisch hin zu Dauergrünland entwickeln, aber verwaltungstechnisch Ackerflächen blieben. Inwieweit dies zukünftig mit dem Fachrecht korrespondiert, nämlich dann, wenn sich auf solchen Flächen beispielsweise geschützte Pflanzenarten etablieren würden, ist zu klären. Jüngste Entscheidungen auf EU-Ebene sehen weitere Regelungen vor, die den Schutz des Dauergrünlands beeinträchtigen (GLÖZ 1: Schwelle für Umwandlung von Dauergrünland in Ackernutzung soll von 5 auf 10 % in einer Region steigen (European Commission, 2025)).



Darstellung 1: Entwicklung der Dauergrünlandflächen in Deutschland seit 1950 BRD/DDR und Gesamtdeutschland (Destatis, 2025).

Mit dem Begriff und der Klassifikation „umweltsensibles Dauergrünland“ (sDGL) wird indirekt versucht, einer tradierten wissenschaftlichen Einordnung der Grünlandflächen in die Kategorien „absolutes“ und „fakultatives“ Grünland (Voigtländer und Jacob, 1987) Rechnung zu tragen. Letzteres beschreibt Grünlandflächen, die aus betriebswirtschaftlichen Gründen vornehmlich seit den 1950er Jahren aus Ackerland in Dauergrünland umgewandelt wurden. Die Rückumwandlung dieser ursprünglichen Ackerflächen zurück in

Ackerland ist somit anders zu beurteilen als solcher, die historisch auf „absoluten Dauergrünlandstandorten“ (organische Böden; Mittelgebirgsstandorte mit ausgeprägter Hanginklination bzw. geringer Bodenauflage) lokalisiert sind. In der zeitlichen Entwicklung der vergangenen 50 Jahre (siehe Darstellung 1) ist festzuhalten, dass Dauergrünland bis in die 1970er Jahre im Anbauumfang zunahm, seit 1979 jedoch, vornehmlich getrieben durch den Zuchtfortschritt beim Silo-Mais, in der absoluten Fläche deutlich abgenommen, und die Intensität der Bewirtschaftung (N-Düngung; Nutzungshäufigkeit) erheblich zugenommen hat. Letzteres hat die Bedeutung des Dauergrünlands für den Erhalt der Biodiversität deutlich eingeschränkt, da insbesondere die zunehmende Vielschnittnutzung der Wiesen (> 3 Schnitte p. a.) in Verbindung mit hoher mineralischer, statt vorher maximal moderater organischer Düngung (Mist) die bis dahin dominierenden klassischen Wiesengesellschaften der Glatt- und Goldhaferwiesen so stark marginalisierte, dass diese heute dem Schutzstatus „Wertgrünland“ unterliegen. Das Wirtschaftsgrünland in Deutschland wird in der mittleren (mesophiles Grünland) und hohen Intensität weitestgehend der Deutsch' Weidelgras-Gesellschaft (Assoziation: *Lolio – Cynosuretum*) in unterschiedlichen Sub-Assoziationen zugeordnet. Diese sind durch Stickstoffzufuhren jenseits von etwa 100 kg N/ha und durch Nutzungshäufigkeiten von mindestens 4 Schnitt- bzw. Weidenutzungen im Jahr geprägt, sodass dies zu einer Nutzung vornehmlich im vegetativen Wuchsstadium führt. Die Samenbildung und damit die Zuführung an Samen in die Samenbank des Bodens unterbleibt dadurch weitgehend und vegetativ vermehrende Arten werden gefördert.

Seit der Wiedervereinigung durchliefen die ostdeutschen Bundesländer eine Entwicklung, die inzwischen auch im gesamten Deutschland wirkt. Bedingt durch den Abbau der Tierhaltung bei gleichzeitiger Konzentration auf die Gunststandorte der Milch- und Rindfleischherzeugung erfolgt eine zunehmende Zweiteilung der Grünlandnutzung: hochintensive Bewirtschaftung in den Gunstregionen der Milcherzeugung einerseits und extensive Nutzung mit verschiedenen Mastverfahren bis hin zur Gefährdung des Grünlanderhalts aufgrund fehlender Nutztiere auf den weniger günstigen Standorten, insbesondere der Mittelgebirge, andererseits.

1.1.2 Dauergrünlandflächen und Trends

In Deutschland werden aktuell im engeren agrarstatistischen Sinne 4,7 Mio. ha, d. h. 28,5 % der Agrarfläche, als Dauergrünland bewirtschaftet (Destatis, 2025). Abweichend davon weist die Inventarberichterstattung für Deutschland „Grasland-Flächen“ im Umfang von 6,836 Mio. ha aus. Die Differenz erklärt sich u. a. daraus, dass dort mit den Daten aus der Fernerkundung auch Gehölzflächen eingehen, deren Baum-/Gehölzbestand nicht die Schwellen der Walddefinition erreichen. Die Destatis-Daten entsprechen einem Dauergrünland-Verlust von 600.000 ha gegenüber 1991 (damals 31,5 % der LF). Auch vor 1991 erfolgten in der Bundesrepublik Deutschland (1949-1990) seit den späten 1970er Jahren erhebliche Umwandlungen von Dauergrünland zu Ackerflächen. Dauergrünland wird als Weide, Mähweide oder Wiese zur Futtererzeugung genutzt. Der Anteil natur-schutzrelevanter spezifischer Grünlandbiotop-Typen ertragsschwacher Standorte in

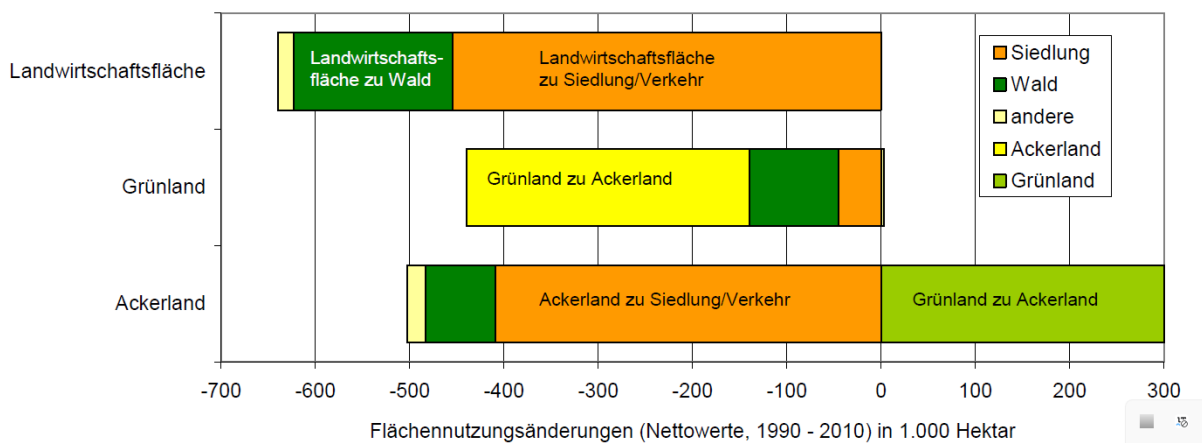
extensiver Bewirtschaftung macht – regional unterschiedlich – im Mittel deutlich weniger als 10 % (211.000 ha „ertragsarmes Grünland“ in 2020 (Osterburg *et al.*, 2023) aus. Der überwiegende Flächenanteil des heutigen Dauergrünlands liegt auf mineralischem Boden. Die Dauergrünland-Fläche auf organischen Böden wird für 2020 mit ca. 1,07 Mio. ha angegeben, das entspricht etwa 55 % der landwirtschaftlichen Fläche auf organischen Böden (Wittnebel *et al.*, 2023).

Dauergrünland ist der Theorie nach dort zu finden, wo eine ackerbauliche Nutzung aus ökonomisch-ökologischen Gründen nicht nachhaltig ist („absolutes Grünland“). Entsprechend ist die regionale Verteilung des Dauergrünlands in Deutschland determiniert durch die Bodenwasserverhältnisse, die den Ackerbau einschränken (hohe Grundwasserstände bzw. temporäre Überflutungen und schlechte Dränung durch z. B. Bodenverdichtungen, organische Böden, Auenböden, alte Marschen) sowie durch sehr hohe Niederschlagssummen jenseits von 800-900 mm (Verschlammung/Erosionsgefahr). Letzteres gilt insbesondere für höhere Lagen (kurze effektive Vegetationszeiten in Mittelgebirgen und im Voralpengebiet) mit ausgeprägter Hang-Inklination. Daneben haben, verstärkt seit den 1950er Jahren bis in die 1990er Jahre hinein „fakultative Grünlandstandorte“ also solche Standorte, die uneingeschränkt ackerfähig sind, einen signifikanten Anteil des Dauergrünlands gestellt, insbesondere in Form hofnaher Weideflächen. Die Umwandlungen von Dauergrünland in ackerbauliche Nutzung seit 1970 fand zwischen 1970 und 1991 fast ausschließlich in der Bundesrepublik Deutschland (1949-1990) statt – dort ging bis zur Wiedervereinigung mehr als 1 Mio. ha Grünland verloren, während der Acker- und Grünlandflächenumfang in der DDR weitgehend stabil blieb (Darstellung 1). Auch nach der Wiedervereinigung waren es nach 1991 vornehmlich die Bundesländer im Westen Deutschlands, die für eine Umwandlung von Dauergrünland-Flächen in ackerbauliche Nutzung verantwortlich zeichneten, allen voran Niedersachsen. Dieses Bundesland weist mit etwa 320.000 ha Dauergrünland-Verlust seit 1991 mehr als die Hälfte aller Dauergrünland-Verluste in Deutschland auf (vgl. u. a. Niedersächsischer Landtag; Drucksache 18/3006). Zum Vergleich: Die Dauergrünland-Fläche Deutschlands umfasste 1990 1 Mio. ha und sank bis 2020 auf 685.000 ha ab. Im gleichen Zeitraum nahm die Maisanbaufläche von 211.000 auf 544.000 ha zu. Für die Flächenentwicklung im Zeitraum bis 2020 spielt das Jahr 2013 eine zentrale Rolle. Mit der seitdem gültigen Direktzahlungsverordnung (EU Nr. 1307/2013) und der damit verbundenen Maßgabe der Erhaltung des Dauergrünlands wurde der Verlust der Dauergrünland-Flächen bundesweit deutlich abgeschwächt und steigt seitdem – zunächst nur in einzelnen Bundesländern (z. B. in Hessen) – inzwischen aber auch bundesweit wieder marginal an.

In Summe hat dies dazu geführt, dass die Kategorie des „fakultativen Grünlands“ mit dem Rückgang der Weidehaltung in der Milcherzeugung und der weiteren Ausdehnung des Maisanbaus als Energiepflanzensubstrat ab 2003 weitgehend verschwunden ist. Häufig wurden zumindest bis 2013 auch „absolute Dauergrünland-Flächen“ insbesondere auf organischen Böden in Äcker, vornehmlich zum Anbau von Silomais, umgewandelt, mit negativen Effekten auf THG-Emissionen und Leistungen in Form mangelnder Ertragssicherheit

(Poyda *et al.*, 2016). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die heute verbliebenen Dauergrünland-Flächen in Deutschland, mit Ausnahme geringer Flächenanteile, die seit 2015 unbeabsichtigt in den Dauergrünland-Status „hineingewachsen“ sind, weitgehend als „absolutes Grünland“ einzustufen sind in dem Sinne, dass eine Umwandlung in eine ackerbauliche Nutzung ökonomisch und ökologisch nicht geboten ist – auch wenn Röder *et al.* (2023) den entgangenen betriebswirtschaftlichen Nutzen des Grünlanderhalts für die deutsche Landwirtschaft auf 45 Mio. € jährlich schätzen. Dem stehen jedoch gesamtgesellschaftliche Kosten in Form von THG-Emissionen (DGL zu Acker) bei einem ETS-Preis von 100 €/Tonne von etwa 10.000 € je umgewandeltem ha Grünland gegenüber.

Andererseits wurden in den letzten 30 Jahren deutschlandweit auch etwa 100.000 ha an Dauergrünland-Flächen aufgeforstet, insbesondere in den Mittelgebirgsregionen (Darstellung 2). Insgesamt beschreibt der Landnutzungswandel zuungunsten des Grünlands in den letzten 30 Jahren in Deutschland somit einen Trend, der weltweit den LUC der letzten Jahrzehnte bestimmt hat: Das Ackerland bleibt im Flächenumfang trotz hohen Flächenverbrauchs für Siedlung und Verkehr und trotz des Flächenverlusts durch Desertifikation etc. weitgehend stabil, da diese Flächenverluste durch Zuwachs aus Dauergrünlandumwandlung zu Acker ausgeglichen werden (FAO, 2025). Aber ähnlich wie dies weltweit der Fall ist, wird diese großflächige LUC-Option zur Erhaltung des Niveaus an weltweiter Ackerfläche mit zunehmend eingeschränkter Grünlandflächenverfügbarkeit eingeschränkt.



Darstellung 2: Absolute Veränderung der Landwirtschaftsfläche zwischen 1990 und 2010 nach Auswertung von digitalen Flächennutzungskarten in Deutschland (Schramek *et al.* 2012).

1.1.3 Nutzungsart und -intensität des Dauergrünlands

Die aktuell 4,7 Mio. ha Dauergrünland sind in folgende Kategorien aufzuteilen. Prämienberechtigte Grünlandflächen (InVeKoS): 3,1 Mio. ha, d. h. 1,6 Mio. ha (die Differenz zu 4,7 Mio. ha) bilden entweder Kleinbetriebe bzw. Kleinflächen < 5 ha ab oder unterliegen nicht der klassischen Nutzung durch Wiederkäuer, dazu gehören insbesondere die Pferdehaltung, die laut Schmitz und Isselstein (2018) etwa 25 % des gesamten Dauergrünlands

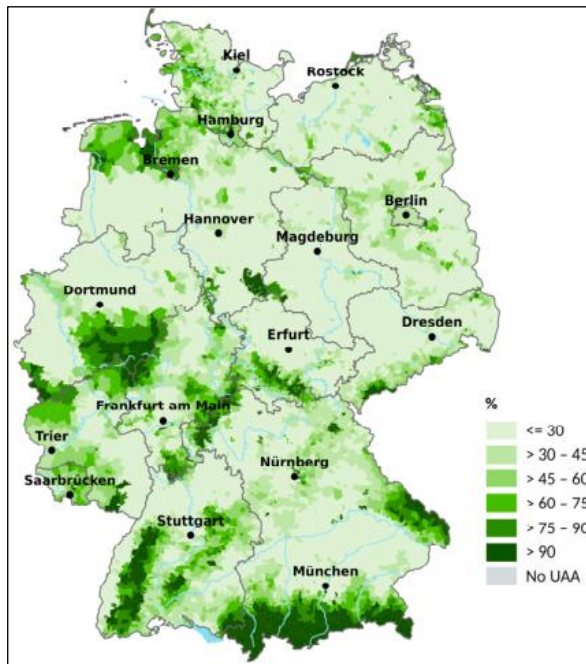
einnimmt (~1,2 Mio. ha) und so die Differenz zwischen prämienerberechtigtem und Gesamtgrünland weitgehend erklärt. Von diesen 3,1 Mio. ha wiederum liegen ca. 1 Mio. ha auf organischen Böden, davon etwa 400.000 ha Futterflächen für die Milcherzeugung. Vom prämienerberechtigten Dauergrünland sind ca. 1,2 Mio. ha der Milcherzeugung und Nachzucht zuzuordnen, die einer mittleren bis hohen Bewirtschaftungsintensität unterliegen. Etwa 1,7 Mio. ha Dauergrünland sind im Jahr 2024 unter den Vorgaben der Ökoregel 5 (ÖR5) im Rahmen der GAP bewirtschaftet worden (Duden *et al.*, 2025). Die ÖR5 honoriert eine semi-intensive Bewirtschaftung, die das Vorkommen von mindestens 4 Kennarten des mesophilen Grünlands honoriert. Landnutzer:innen haben 2024 für viele dieser Flächen (1,3 Mio. ha) auch die ÖR4 (extensive Grünlandbewirtschaftung mit maximal 140 kg N/ha/Jahr) in Anspruch genommen. Weitere 0,2 Mio. ha sind als ertragsarmes, extensives Grünland im Sinne der *High-Nature-Value* (HNV)-Flächeninventare gelistet und erklären so in Summe weitgehend die Gesamtheit der Grünlandflächen in Deutschland. Auch wenn die Validität der Daten bezüglich der hohen Flächenanteile der ÖR 4/5 nicht unfänglich klar ist, da der Flächenumfang des „potenziell artenreichen Grünlands“ seitens der Fachleute mit einer Größenordnung von 600.000 ha eingeschätzt wurde (Duden *et al.*, 2025), ergibt sich so durchaus ein plausibles Bild der Dauergrünland-Flächennutzung, denn die Parallelität des gemeinsamen Flächenumfangs der ÖR 4 und 5 deutet auf tatsächlich sehr hohe Anteile mesophilen Grünlands hin. Dies umso mehr, als Grünlandaufwüchse als Substrat für die Biogaserzeugung oder andere Nutzungen jenseits der Veredlung zu Milch und Fleisch nur eine marginale Rolle spielen. So werden 2021 laut FNR (2025) ca. 200.000 ha Grassubstrat in Biogasanlagen verwertet, wobei nicht zwischen Dauergrünland und Ackerfuttergras unterschieden wird. In der Regel werden Spätsommer- und Herbstaufwüchse aus intensiven Anbausystemen eingesetzt, die in der Rinderhaltung aufgrund geringer Futterqualität oder eines Futterüberschusses nicht ökonomisch verwertet werden können.

Diese hohe Flächenausstattung des mesophilen Grünlands in Verbindung mit der großen Akzeptanz der ÖR 4/5 durch die Landnutzer:innen bedeutet, dass offensichtlich eine Wirtschaftlichkeit der Intensivierung dieser Flächen nicht gegeben ist – sei es aufgrund standörtlicher Limitierungen oder resultierend aus dem Abbau der Rinderhaltung aus Mangel an verfügbaren Raufutterfressern. Der zunehmende Mangel an verfügbaren Raufutterfressern betrifft neben den Rindern ganz besonders auch die kleinen Wiederkäuer. Während die Anzahl der Schafe laut BMEL-Statistiken im Jahr 2000 noch bei etwa 2,7 Mio. Tieren lag, wird diese Zahl im Jahr 2024 mit nur noch 1,5 Mio. Tieren angegeben und ist damit fast halbiert – entsprechend ist die Schätzung von Schmitz und Isselstein (2018), wonach 3-5 % (entsprechend 120–200 Tsd. ha) des Dauergrünlands durch Schafe genutzt werden, nach unten zu korrigieren. Die Erfassung der Veränderungen des Tierbestandes an Ziegen erfolgt nicht in der sonstigen Dichte der Systematik der BMEL-Statistiken, dürfte aber noch einmal um den Faktor 10 unter den Schafzahlen liegen (Destatis, 2025). Dieser Verlust an kleinen Wiederkäuern ist insbesondere für die angemessene Nutzung des Naturschutzes relevanten Grünlands als dramatisch einzustufen.

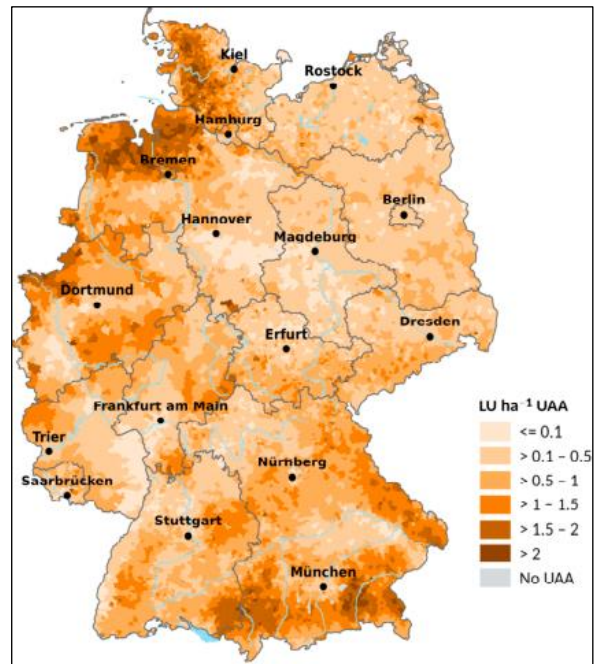
Die Nutzung des Dauergrünlands dient somit derzeit weitestgehend zur Futtererzeugung vornehmlich für Rinder. Entsprechend resultiert eine enge räumliche Beziehung zwischen den regionalen Dauergrünland-Anteilen an der landwirtschaftlichen Fläche und der regionalen Tierdichte Raufutter fressender Tierarten mit zwei zusammenhängenden großen regionalen Clustern hoher Tierdichten in den Küstenregionen entlang der Nordsee im Norden und dem Voralpengebiet im Süden. Einen dritten Cluster stellen die Mittelgebirge dar, mit jedoch deutlich reduzierten maximalen Tierdichten (0,3–1,4 GV/ha) im Vergleich zum Nord- und Südcluster ($> 1,4$ GV/ha). Dies wird durch die Bodenklimaräume dahingehend nachvollziehbar, dass rauere Lagen im Mittelgebirge, mit geringer Bodenaufgabe und damit geringer nutzbarer Feldkapazität ab einer gewissen Höhenstufe hohe Anteile des Deutschen Weidelgrases als wichtigstes Futtergras in der intensiven Grünlandnutzung in der Konkurrenzkraft einschränken und damit die Erträge und Energiedichten des Grünlandfutters nur noch begrenzt den Ansprüchen der Hochleistungsrinder genügen.

Fazit: Das Dauergrünland steht trotz der europäischen Vorgaben zum Grünlandschutz seit Jahrzehnten in seinem Flächenbestand von zwei Seiten unter Druck. Das Intensivgrünland wird bis auf wenige absolute Dauergrünland-Regionen, die keinen Maisanbau zulassen (Wesermarsch; Allgäu) durch die relative ökonomische Vorzüglichkeit des Maisanbaus und den züchterisch-technischen Fortschritt (weniger Tiere für gleiche Milchmenge) zurückgedrängt. Das semi-intensiv und extensiv genutzte Dauergrünland leidet unter der geringen Wertschöpfung der Mastverfahren auf dem Dauergrünland. Die Tatsache, dass der Flächenbestand in den letzten 10 Jahren stabil geblieben ist, ist durch den gesetzlichen Schutz einerseits, attraktive Transferzahlungen im mesophilen Grünlandbereich und die Unaufmerksamkeit von Landbewirtschaftenden andererseits zu erklären, die Ackerflächen über mehr als 5 Jahre mit Gras bewirtschafteten und so unabsichtlich den Dauergrünland-Status erhöhten. Diese Rahmenbedingungen stehen nach derzeitigem Kenntnisstand jedoch mit der GAP nach 2027 in Frage.

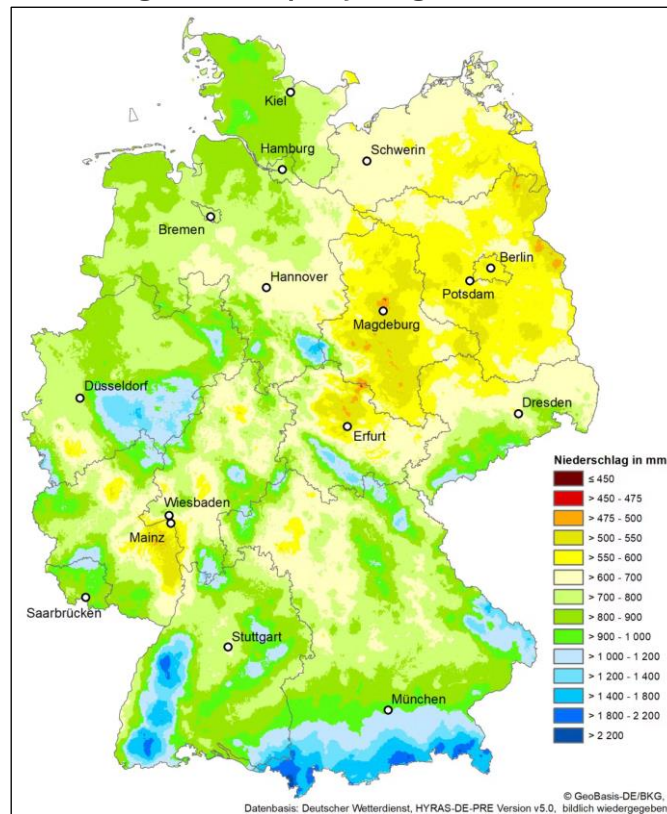
(a) Anteil der DGL-LF



(b) Raufutter-fressende GV/ha



(c) Niederschlagssumme (vieljähriger Mittelwert 1991-2020)

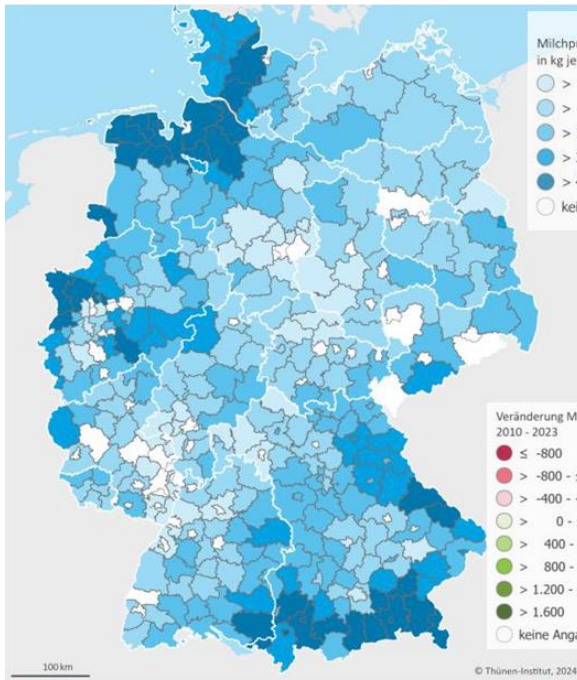


Darstellung 3: Anteil der Dauergrünland-LF (a) und des Raufutter-fressenden GV/ha (b) sowie die Niederschlags-summe (vieljähriger Mittelwert 1991-2020), c) in den Regionen Deutschlands (Zinnbauer *et al.*, 2024; Umweltatlas Berlin, 2025).

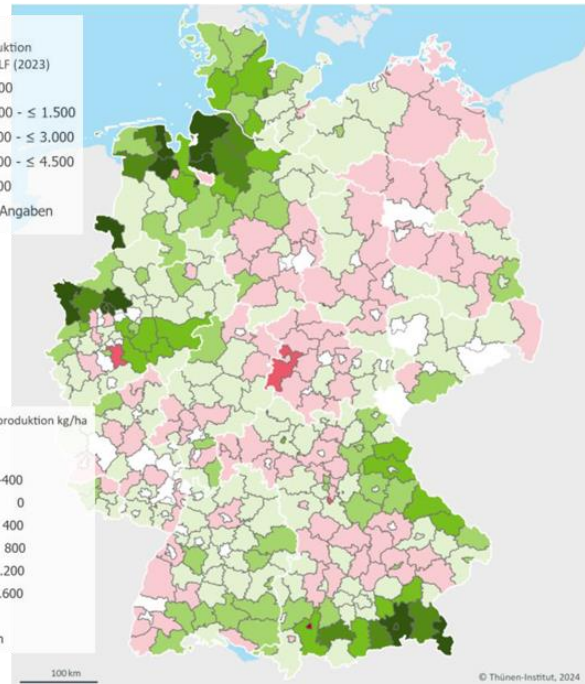
1.2 Grünland und Milcherzeugung

Aus den oben gezeigten räumlichen Zusammenhängen ergibt sich, dass die Basis der Milcherzeugung historisch auf den (ursprünglich) guten Grünlandstandorten (mildes Winterklima, hohe gleichmäßige Niederschlagssummen > 750mm) beruhte und immer noch beruht, was zu entsprechenden ökonomischen Allokationseffekten (Molkereien; Milchverarbeitung) in der Vergangenheit beigetragen hat. Diese Rahmenbedingungen wirken weiter, auch wenn der Anteil des Grünlandfutters in der Futterrationsration der Hochleistungskuh seit 40 Jahren zugunsten des Silomaises und des Konzentratfuttereinsatzes stetig abnimmt. Die zeitliche Veränderung (Zunahme!) der Milchproduktion je ha Landwirtschaftliche Fläche (LF) erfolgt seit 2010 (Darstellung 4) vornehmlich in diesen schon vorher durch intensive Milcherzeugung geprägten Regionen im Norden und Süden, die zudem durch hohe Anteile organischer Böden geprägt sind. Dagegen wanderte und wandert die Milcherzeugung aus den östlichen Bundesländern und den Mittelgebirgsregionen weiter ab. Die Milcherzeugung in Deutschland hat sich so über eine Erhöhung der Milchleistung/Kuh und der damit verbundenen Ansprüche an hohe Energiedichten (mehr Mais/Konzentratfutter) trotz Verortung in den ursprünglichen Dauergrünland-Regionen in Richtung einer ackerbaubasierten Futtererzeugung auf häufig sensiblen Standorten (organische Böden) verschoben, erkennbar an deutlich zunehmenden Maisflächen und abnehmenden Dauergrünland-Flächen in diesen *Hotspots* der Milcherzeugung während der letzten Jahrzehnte und ganz besonders offensichtlich an der Veränderung der Landnutzung im Bundesland Niedersachsen (Darstellung 5).

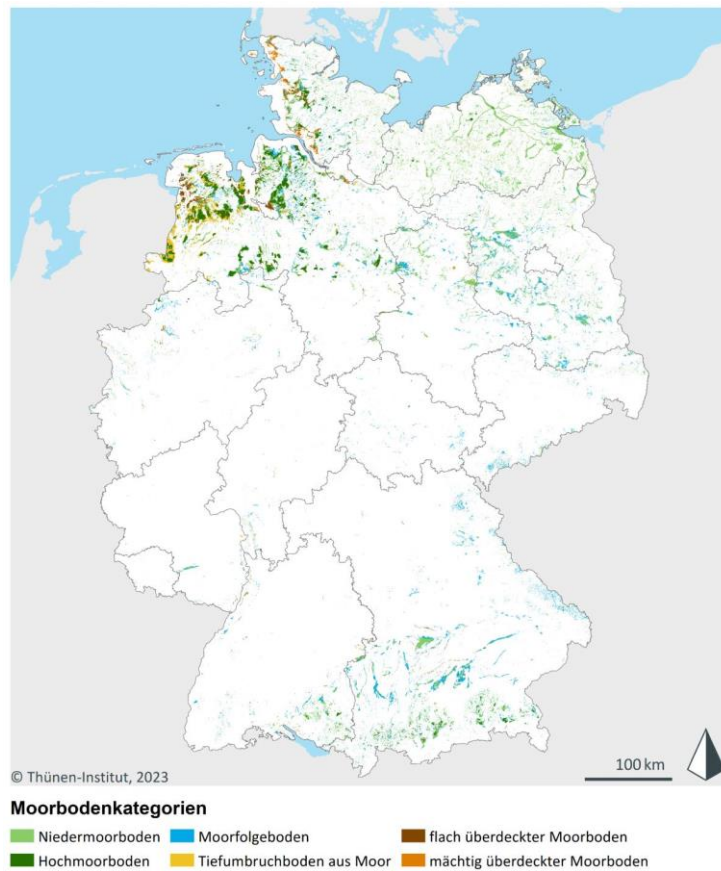
Regionale Verteilung der Milchproduktion 2021



Veränderung der Milchproduktion in kg/ha LF 2010 - 2021

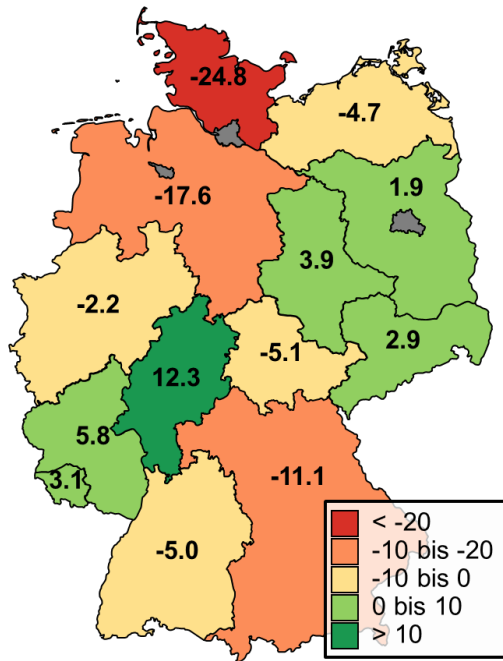


Verbreitung der organischen Böden in Deutschland nach Moorbodenkategorien 2022

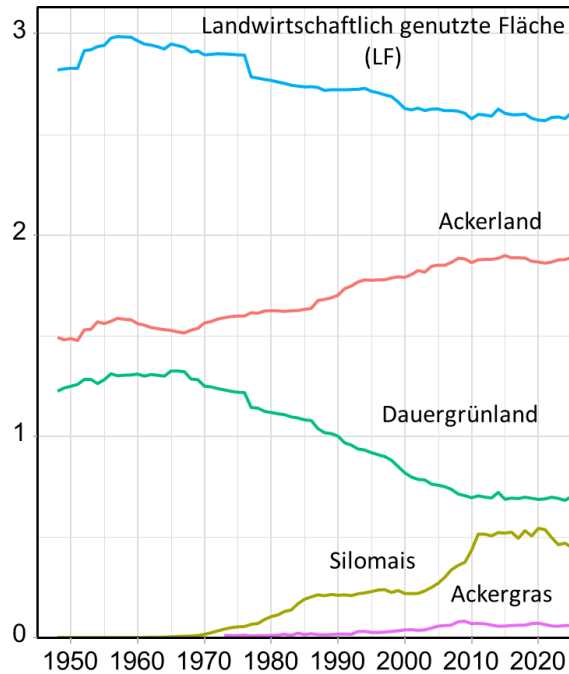


Darstellung 4: Regionale Verteilung der Milcherzeugung in kg/ha 2023, der rel. Veränderung zu 2010 und der regionalen Verteilung der organischen Böden (Tergast *et al.*, 2025; Wittnebel *et al.*, 2023).

Veränderung der Dauergrünlandfläche von 1999 auf 2025 (in %)

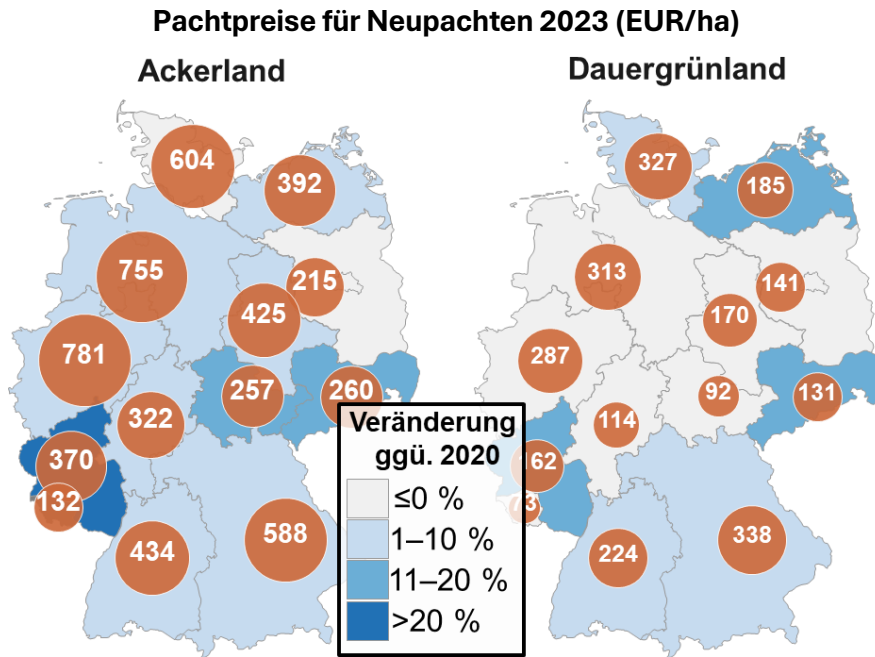


Landnutzung in Niedersachsen (in Millionen ha)

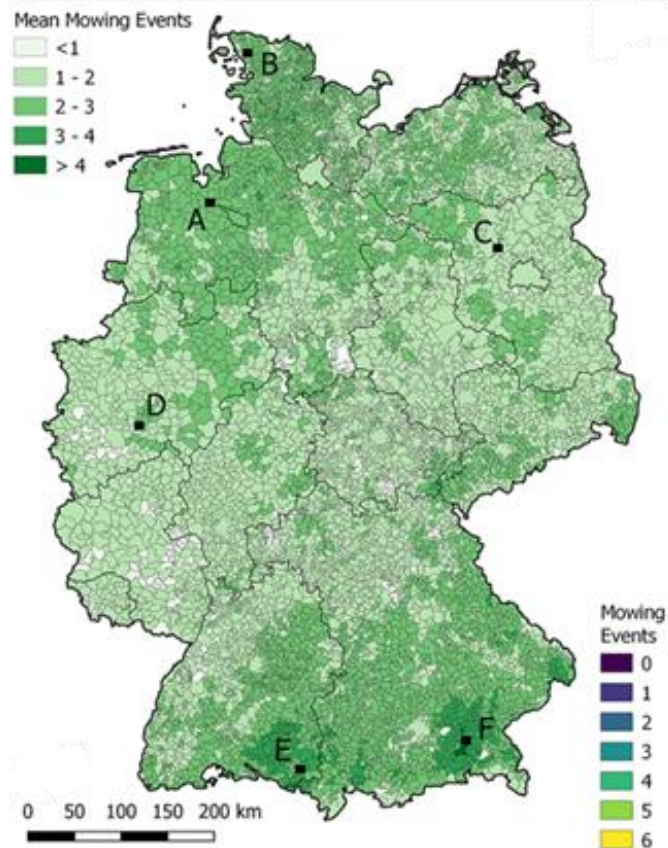


Darstellung 5: Veränderung der Flächenanteile des Dauergrünlands in den Bundesländern (links) und der gesamten Landnutzung am Beispiel von Niedersachsen (rechts).

Die deutliche ökonomische Überlegenheit der Verwertung des Grünlandaufwuchses über die Milcherzeugung (Buchführungsverband SH: Bodenrenten guter Betriebe im mehrjährigen Mittel 800-1.000 €/ha (Brandt *et al.*, 2025)) spiegelt sich auch in den Opportunitätskosten für die Grünlandflächen in den Gunstlagen der Milcherzeugung wider. Die Pachtpreise für Grünland, aber auch Ackerland in den Milchviehregionen, sind in den vergangenen 10 Jahren deutlich angestiegen und liegen in den „Milchländern“ SH, NI, NW und BY laut Destatis (2025) um den Faktor 2-3 höher als in den östlichen Bundesländern mit extensiven Mastverfahren auf dem Dauergrünland (Mutterkuhhaltung) oder mit dominierendem Marktfruchtanbau.



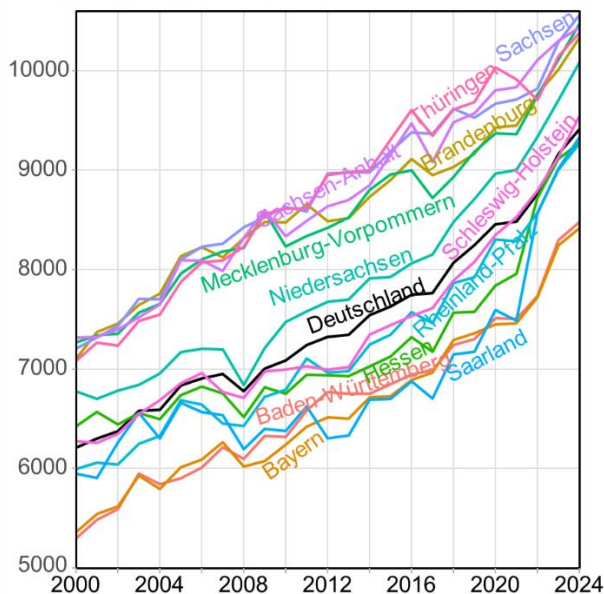
Nutzungshäufigkeiten des Dauergrünlands im Jahr 2020



Darstellung 6: Flächenkosten Acker/Grünland 2023 (Destatis, 2025) und Nutzungshäufigkeiten des Dauergrünlands im Jahr 2020 nach Schwieder *et al.* (2022).

Die hohen Flächenkosten verursachen eine vergleichsweise hohe Intensität der Dauergrünland-Bewirtschaftung in den Milcherzeugungsregionen. Die jeweiligen Auswertungen der Beratungsinstitutionen (vgl. Rinderreport SH, verschiedene Jahrgänge (LKSH, 2025)) zeigen, dass die Nutzungen mit hohen Anteilen an ganzjähriger Stallhaltung in Richtung 4-6 Schnitte gehen, was durch inzwischen vorliegende Fernerkundungsdaten eindrucksvoll bestätigt wird (vgl. Lobert *et al.*, 2021; Schwieder *et al.*, 2022; Reiner mann *et al.*, 2022; Holtgrave *et al.*, 2023). Kombiniert ist diese hohe Nutzungshäufigkeit mit N-Intensitäten von 250-350 kg N/ha (170 aus Gülle + 80-180 aus Mineraldünger, vgl. auch Reinsch *et al.* (2021) und Sieve *et al.* (2023)). Der in Statistiken immer noch relativ hoch angegebene „Weideanteil“ der Milchviehherden ist irreführend, weil mit dieser Feststellung lediglich adressiert wird, dass Milchkühe zeitweise Zugang zu Weideflächen haben – zumeist betrifft das jedoch nur die Trockensteher in relativ kurzen Zeiträumen oder hofnahe „Auslaufweideflächen“, die keine nennenswerten Futteraufnahmen auf der Weide gewährleisten. Die Milcherzeugung auf Basis der klassischen Vollweide oder Halbtagsweide umfasst nach Expert:innen-Meinung (Ergebnis der Expert:innen-Interviews) derzeit maximal 5 % – bis regional in Ausnahmefällen 10 % – der erzeugten Milchmenge in Deutschland mit insgesamt abnehmender Tendenz, wie überall in den Milcherzeugungszentren Europas (Van den Pol-van Dasselaar *et al.*, 2020; 2021).

Entwicklung der Milchleistung in den Bundesländern
Milchleistung in kg/Kuh und Jahr



Durchschnittliche Bestandsgrößen in den Bundesländern (Kühe pro Betrieb), Mai 2025



Darstellung 7: Milchleistungsentwicklung in den Bundesländern und Bestandsgrößen 2025 (BZL, 2025; Tergast *et al.*, 2025).

1.2.1 Beziehungen zwischen Milchleistung und Grünlandnutzung

Die durchschnittlichen Herdenleistungen steigen seit 30 Jahren unvermindert nahezu linear um mehr als 100 kg ECM/Kuh/Jahr an, mit regionalen Unterschieden dahingehend, dass im Nordwesten, Norden und in den östlichen Bundesländern, die von der Rasse Holstein-Friesian dominiert sind, ein Durchschnittsniveau um 10.000 kg ECM/Kuh erreicht wird, während die Zwei-Nutzungsrasen des Südens in BY und BW in den Milchleistungen um mehr als 2.500 kg ECM/Kuh, jedoch zugunsten höherer Fleischleistung, darunter liegen. Die begrenzte tägliche Futteraufnahmekapazität der Hochleistungskuh von maximal 24-26 kg TM bedeutet, dass für steigende Milchleistungen energie- und proteinreicheres Futter notwendig wird und spätestens ab Milchleistungsniveaus jenseits von 8.000-9.000 kg ECM/Kuh das Grünlandfutter zumeist nicht mehr als Haupt-Grobfutterkomponente für die Energieversorgung konkurrenzfähig ist. Dies liegt daran, dass entweder die dort realisierte Energiedichte in Grassilagen nicht ausreicht, um die täglich notwendige Energiemenge für > 35-40 kg ECM/Kuh/Tag aufzunehmen oder in der Situation des Weidegangs die physiologisch begrenzte Fresszeit am Tag nicht ausreicht, um trotz hoher Energiedichten im Weidefutter die notwendige tägliche Energiemenge aufzunehmen, auch weil zudem der Energieverbrauch für den Erhaltungsbedarf auf der Weide erhöht ist. Diese Interdependenzen führen dazu, dass das Dauergrünland bei ausreichend hohen Niederschlägen > 700 mm – wie oben gezeigt – mindestens 4x und bis zu 6x im Jahr geschnitten werden muss, um eine ausreichend hohe Energiedichte von > 6,2 MJ NEL/kg TM im gewichteten Jahresmittel zu erreichen. Nur dann ist eine ausreichend hohe Futteraufnahme an Energie und Protein gewährleistet. Dafür sind vom Deutschen Weidelgras (DW; *Lolium perenne* L.) oder vergleichbar hoch verdaulichen Arten dominierte Hochleistungsbestände oder Deutsches-Weidelgras-Weißklee-Bestände Voraussetzung, weil nur diese Bestandszusammensetzungen höchste Energiedichten, höchste Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten und hohe nutzbare Proteinnengen im Dünndarm gewährleisten (Ombabi *et al.*, 2001; Salama *et al.*, 2012; 2017; Köhler *et al.*, 2017; Loza *et al.*, 2021). In der Konsequenz entscheidet die Energiedichte des 1. Aufwuchses im Frühjahr darüber, ob der Jahreszielwert erreicht wird. Liegt diese über 6,5 MJ NEL/kg TM, ist dies gewährleistet, liegt sie deutlich darunter, ist dies nicht der Fall. Insbesondere bei ganzjähriger Stallhaltung und damit verbundener ausschließlicher Schnittnutzung der Bestände wird dieser Zielwert im 1. Aufwuchs häufig nicht erreicht, weil durch das Fehlen der Beweidung die Seitentriebbildung und damit der rasenhafte Wuchs des Deutschen Weidelgrases leidet (Peters *et al.*, 2021) und unerwünschte Arten in die Bestände einwandern. So ist im bayerischen Wirtschaftsgrünland die Gemeine Rispe (*Poa trivialis* L.) das als Futterbasis unerwünschte Gras, das mit der höchsten Stetigkeit im Dauergrünland vorkommt (Köhler *et al.*, 2013, 2017), das aber in Ertrag und Futterqualität nicht überzeugt. Entsprechend werden dort im 1. Aufwuchs häufig nur Energiedichten von 6,0 MJ NEL/kg TM erreicht, die auch bei Erhöhung der Schnittfrequenz auf 5 oder 6 Schnitte im Jahr kaum kompensiert werden können. Optimal geführte Dauergrünland-Bestände (regelmäßige Nachsaat- und Pflegemaßnahmen inbegriffen) erreichen bei mittlerer bis hoher Intensität und Mähweidenutzung im Westen und Norden einen Anteil von über 70 % an Hochleistungsgräsern

und können im Jahresmittel Energiedichten von 6,2–6,5 realisieren. Auf diese Weise können Konzentrattfutter eingespart und die Methanemissionen, die negativ mit der Energiedichte korreliert sind, verringert werden (Loza *et al.*, 2021).

Fazit: Es bestehen klare Pfadabhängigkeiten dahingehend, dass bedingt durch die Zunahme der Einzeltierleistungen und die Fokussierung auf Milchleistung („Ein-Nutzungsrind“) die ganzjährige Stallhaltung mit energiereichen Futterkomponenten dominiert und damit eine Veränderung der Grünlandnutzung von Mähweidenutzungen hin zu Vielschnittwiesen erfolgt. Vielschnittwiesen sind erheblichen Stressoren ausgesetzt (u. a. Bodenverdichtungen durch vielfache Überfahrten mit schwerem Gerät; hohe Gülledüngungsapplikationen auch im Herbst), was sich in der Zunahme unerwünschter Gräserarten mit geringerer Futterqualität und der Abnahme des DW-Anteils im Bestand äußert (Verma *et al.*, 2026). Dies reduziert die Energiedichte des Futters und damit die ökonomische Vorzüglichkeit weiter zuungunsten des Grünlands und zugunsten des Silomaises.

1.2.2 Der Konflikt zwischen Dauergrünland-Produktivität und Phyto-Diversität

Während im Westen und Norden Deutschlands im intensiv bewirtschafteten Vielschnitt-Dauergrünland als Futterbasis zur Milcherzeugung bei N-Intensitäten von 200–350 kg N/ha sehr hohe Anteile an DW von 70 % und mehr angestrebt werden, stellt sich die Situation im Süden und im alpinen Raum abweichend dar. Im Süden und in höheren Lagen sowie unter den Bedingungen weniger sauren Bodenmilieus reichen 50 % der Hochleistungsgräser im Bestand aus, um die genannten Zielwerte der Futterqualität zu erreichen, weil bedingt durch die höhere Einstrahlung hoch verdauliche niederwachsene krautartige Pflanzen zur Ertragsstabilität beitragen. Physiologisch ist dies folgendermaßen zu erklären: Die intensive Störung („Entblätterung“) wirkt als „Habitatfilter“ dahingehend, dass physiologische Reaktionen notwendig sind, um schnellstmöglich auf diese Entblätterung zu reagieren. So kommt es zur Ausprägung ähnlicher adaptiver Merkmale (*similar traits*), die einen schnellen Wiederaufwuchs gewährleisten: eine hohe spezifische Blattfläche, eine hohe N-Konzentration je cm² Blattfläche und eine hohe Blattbildungsrate – mit diesen Merkmalen ausgestatteten Pflanzenarten gelingt es, nach Störungen/Nutzungen sehr schnell wieder ein geschlossenes Blätterdach aufzubauen („*Ressource aquisition*“-Strategie). Das setzt allerdings eine hohe Ressourcenverfügbarkeit voraus (Nährstoffe/Wasser). Die „*residence time*“ eines Blattes ist kurz und damit ist eine hohe Verdaulichkeit/Futterqualität gewährleistet. Da evolutionär nur wenige Arten an diese Störungshäufigkeit bei üppiger Ressourcenverfügbarkeit angepasst sind, sind die Bestände artenarm und zudem durch eine vergleichsweise niedrige Gleichverteilung im Bestand > *Evenness*-Wert in der Größenordnung von $E = \sim 0,6$ bzw. niedrigen Shannon-Wiener-Index < 1,5 charakterisiert (Ellmayer, 1996), da wenige Arten über den gegebenen Habitatfilter den Bestand dominieren und weiteren Spezies nur begrenzt über „*dissimilar traits*“ (wie z. B. krautiger Wuchs und Ausprägung einer Pfahlwurzel) eine Nischendifferenzierung zukommt. Mit zunehmender Nutzungsintensität z. B. in Form von Stickstoffdüngung nimmt die Bedeutung

des Habitatfilters noch zu (Maire *et al.*, 2012) und gleichzeitig verursachen „*trait redundancy's*“ (Roscher *et al.*, (2005) und „*sampling effects*“ (Tilman, 1999) eine weitere Reduktion der „optimalen Artenzahl“ im Sinne des Biomasseertrages auf Größenordnungen deutlich < 20 Arten in intensiven Grünlandnutzungssystemen. Zu unterscheiden ist in der Literatur zudem zwischen solchen Arbeiten, die (a.) mit artifiziell diversen Beständen arbeiten wie im Jena-Experiment (Weisser *et al.*, 2017), (b.) nur relativ kurze Beobachtungszeiträume nach einer Neuansaat betrachten und damit eher „Ley-Effekte“ abbilden als Effekte im Dauergrünland und (c.) solchen, die die Dynamik langjähriger Veränderungen der botanischen Zusammensetzung im Dauergrünland z. B. nach Stressphasen einbeziehen. Letztere kommen zumeist zu dem Ergebnis, dass in intensiv bewirtschaftetem Dauergrünland weniger Arten als in (a.) und (b.)-Konstellationen für hohe Ertragsstabilität sorgen, dass die Identität dominierender Arten in Kombination mit komplementär-synergistisch wirkenden Mischungspartnern die zentrale Bedeutung für Ertrag und Ertragsstabilität ausüben und damit die Bedeutung der Komplexität der Arten auf dem Dauergrünland deutlich überlagern (Sanderson, 2010). Befunde, wie sie jüngst von Verma *et al.* (2026) und von Finn *et al.* (2024) und O'Malley *et al.* (2026) bei mittlerer bis sehr hoher Bewirtschaftungsintensität bestätigt werden. Aussaatmischungen für das wirtschaftlich genutzte Dauergrünland nehmen auf diese Zusammenhänge in gewisser Weise Rücksicht und unterscheiden sich daher in den Regionen Deutschlands.

Fazit: Systembedingt führt die zunehmende ganzjährige Stallhaltung der Milchviehherden zu vielschnittdominierten Dauergrünland-Systemen mit geringer Phyto-Diversität, die sich in geringen faunistischen Diversitätskennzahlen fortsetzen, weil Blühhabitats fehlen (Beye *et al.*, 2022). Dies wird dadurch verursacht, dass die Dauergrünland-Bestände in vegetativen Wuchsstadien zur Silofuttererzeugung geerntet werden. Nur so können Futterenergiedichten in den Futterkonserven erreicht werden, die den Ansprüchen der Hochleistungskühe entsprechen. Zudem wirken ausgeprägte Stressoren für die Grünlandbestände in Form von Bodenverdichtungen, bedingt durch häufige Überfahrten mit schwerem Gerät, und temporär erhöhtem Salzstress, bedingt durch hohe Düngeapplikationen organisch-mineralischer Dünger – häufig bis in den Spätherbst hinein, ohne dass dann noch ein entsprechender Nährstoffbedarf der Pflanzenbestände für die Ertragsbildung gegeben wäre (Verma *et al.*, 2026). Im Extrem kann dies – wie zum Teil in den Niederlanden zu beobachten – zu DW-Monokulturen mit häufiger Dauergrünland-Erneuerung führen (Schils *et al.*, 2007; 2022). Hohe Phyto-Diversität (im Sinne artenreicher Bestände mit mehr als 30-40 Arten) und Produktivität im Sinne von hohem Ertrag und gleichzeitig sehr hoher Verdaulichkeit von Grobfutter vom Dauergrünland schließen sich somit auf der gleichen Fläche weitgehend aus. Nur eine Kombination unterschiedlicher Intensitäten für unterschiedliche Ansprüche (Milchvieh/Jungvieh) auf unterschiedlichen Schlägen könnte diesen Konflikt zwischen Phyto-Diversität und Produktivität auf dem Vielschnitt-Dauergrünland im Sinne der Schaffung von erhöhter Gamma-Diversität auf den Betrieben lösen (Leuschner *et al.*, 2024), was aber derzeit ebenfalls aufgrund des reduzierten Bedarfs an Remontierung (Nachkommensersatz für ausscheidende Milchkuhe) und zunehmender Stallhaltung der Jungtiere an Bedeutung auf Milchviehbetrieben

verliert (Wild *et al.*, 2025). Und schließlich sind diese weniger intensiv genutzten Grünlandflächen für das Jungvieh häufig auf entwässerten Moorflächen lokalisiert, die z. B. in Mecklenburg-Vorpommern über 80 % des gesamten Dauergrünlands ausmachen (Harms *et al.*, 2024).

1.2.3 Konsequenzen steigender Herdengrößen und Milchleistungen für das Dauergrünland

Wenn also der Trend in Richtung einer weiteren Steigerung der Einzeltierleistung – wie in Darstellung 7 gezeigt – fortgeführt wird und gleichzeitig die Herdengrößen weiter ansteigen, wovon jeweils ohne politische Intervention auszugehen ist, weil die Kosten für Arbeit und Stallplatz sowie technische Innovationen („KI im Stall“) diese Richtung vorgeben, dann wird die Bedeutung des Grünlandfutters für die Milchkühe weiter abnehmen. Das bedeutet gleichzeitig auch eine Abnahme des Grünlandfutterbedarfs für die Nachzucht, weil weniger Tiere für die Remontierung benötigt werden. Die noch vor knapp 20 Jahren postulierten unterschiedlichen Milcherzeugungsstrategien, die auch in den bäuerlich strukturierten Betrieben Bayerns zum Erfolg führten (Dorfner, 2008), sind augenscheinlich in der großen Masse zugunsten der Kombination aus „Wachstumstyp“ und „Milchleistungstyp“ entschieden, zuungunsten der „Allrounder“ und „Kostenoptimierer bei mittlerer Milchleistung“. Bayern mit derzeit noch nahezu der Hälfte der Milchviehbetriebe und der Milchkühe in Deutschland hat in den letzten 10 Jahren den deutlichsten Strukturwandel in der Milchproduktion erlebt und dieser wird sich bei konservativer Schätzung bis 2040 noch einmal beschleunigen (LfL, 2024): Bei ähnlicher Milchmenge wie heute ist dort ein Abbau des Milchviehbestandes um mindestens 20 % und eine Milchleistungssteigerung um ebenfalls 20 % auf dann erwartete 8.300 kg ECM/Kuh zu erwarten. Da die Produktionskosten der gängigen Milchproduktionssysteme maßgeblich durch Skaleneffekte der Herdengröße bestimmt sind (minus 10 Cent/ECM Produktionskosten bei 300 statt 60 Kühen in Bayern; bis minus 20 Cent je kg ECM in SH (Landwirtschaftlicher Buchführungsverband, 2024)), dürfte der Strukturwandel ungebremst weitergehen. Das hat Konsequenzen für das Grünland: Es ist bei konservativer Trendfortschreibung bis 2040 mit einer Flächenfreisetzung von 20-35 % im Bereich Milcherzeugung zu rechnen (LfL, 2024). Die für Bayern dargestellten Rahmenbedingungen weisen aufgrund einer vergleichsweise niedrigen Einzeltierleistung im bundesweiten Vergleich immer noch einen Beitrag des Grünlandfutters (ausgedrückt in Prozent Trockenmasse des Gesamtfutterbedarfs) im Komplex Milchkuh/Nachzucht von 75 % aus. Das sind Werte, die vor allem im Osten häufig nicht mehr erreicht werden bzw. nach der Wiedervereinigung nicht erreicht wurden, weil niedrige Grünlandflächenanteile aufgrund niedriger Niederschlagssummen die Konkurrenzfähigkeit des Grünlands im Tiefland zusätzlich reduzierten.

Dort liegen Herdenleistungen jenseits der 10.000 kg ECM/Kuh vor, mit weiter steigender Tendenz (deutschlandweit linear +105 kg/Jahr). Dies führt zu Rationen, die nur noch einen begrenzten Anteil von Konserven vom Grünland als Struktur- und Proteinlieferanten mit ausreichender Energiedichte einsetzen, in einer Größenordnung von dann nur noch 30 % der Trockenmasse (TM)/Tag und darunter (DLG; 2014; 2023). Die Entwicklungen der letzten 30 Jahre mit dem zentralen Treiber des züchterisch/technischen Fortschritts lassen sich anhand der Darstellung 8 (DLG, 2020) gut erklären. Dort sind typische Futterrationen für Milchkühe in Abhängigkeit des Leistungsniveaus und der Haltung (mit/ohne Weide) einerseits und der zentralen Grobfuttergrundlage (Grünland/Acker) aufgeführt. Die grün markierte Spalte auf der linken Seite in Darstellung 8 stellt für den Norden und Nordwesten das typische Milcherzeugungssystem der 2000er Jahre dar, mit Weidegang im Sommer und Grassilage im Winter, ergänzt durch etwa 20 % Maissilage im Grobfutteranteil, während der Grünlandanteil in der Futterbasis 55 % ausmacht und der Kraftfutter (KF)-Anteil in der Gesamtration etwa 35 % der TM beträgt. Die Zahlen in Darstellung 8 verdeutlichen, dass der Trend mit Milchleistungen jenseits der 10.000 kg ECM/Kuh in Richtung einer Halbierung des Grünlandfutters in Milchviehrationen geht. Die unteren drei Zeilen dort machen zudem deutlich, dass der KF-Anteil bei 40 kg ECM Tagesleistungen Größenordnungen von 40 % und darüber erreicht und der Grobfutteranteil Energiedichten $> 6,2$ MJ NEL/kg TM aufweisen muss, um die notwendigen Futteraufnahmen für diese Leistungen zu realisieren. Das ist in der Regel nur mit Futter aus dem 1. Grünlandschnitt bei optimaler Konservierung zu erreichen, d. h. das Grünland wird in der Milcherzeugung jenseits der optimalen Weidelgrasstandorte (z. B. Wesermarsch; Allgäu) bei entsprechender Trendfortsetzung nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ eine weiter abnehmende Rolle spielen.

	Futterraufwand Milchkuh (kg TM je Kuh und Jahr)							
Leistung	8.000 kg ECM + 0,9 Kalb			10.000 kg ECM + 0,9 Kalb				
Futterbasis	mit Weide		ohne Weide		mit Weide		ohne Weide	
	Grünl.	Acker	Grünl.	Acker	Grünl.	Acker	Grünl.	Acker
Heu			500	450			500	450
Weidegras	1.400	1.000			1.100	900		
Grassilage	2.300	1.400	3.100	1.900	2.600	1.650	3.100	2.000
Maissilage	800	2.100	800	2.200	1.100	2.300	1.100	2.400
Stroh	250	200	200	200	250	200	200	200
Grobfutter	4.750	4.700	4.600	4.750	5.050	5.050	4.900	5.050
Raps/Sojaextr.	134	312	178	445	267	445	312	623
Getreide	264	132	220	132	308	176	220	264
MLF*	1.408	1.320	1.584	1.232	1.672	1.584	1.936	1.408
Mineralfutter	143	238	143	238	190	285	190	285
Konzentrat	1.949	2.002	2.125	2.047	2.437	2.490	2.658	2.580
	Futterraufwand Milchkuh (% TM)							
Grünland	55	36	54	35	49	34	48	32
Maissilage + Stroh	16	34	15	35	18	33	17	34
Konzentrat	29	30	32	30	33	33	35	34
davon Getreide*	10	8	10	7	11	9	11	9

*Bei 30 % Getreide im Milchleistungsfutter (MLF)

Darstellung 8: Milcherzeugungsverfahren (DLG, 2020) und Auswirkungen auf den Anteil von Grünlandfutter (% TM) in der Ration.

Fazit: Es bestehen noch erhebliche regionale Unterschiede in der intensiven Grünlandnutzung zur Milcherzeugung (mittlere Einzeltierleistungen mit Zweinutzungsrasen und hohen Grünlandanteilen in der Futtermischung im Süden und Milchrassen mit maximalen Milchleistungen und abnehmenden Grünlandfutteranteilen in großen Herden im Norden und Osten). Diese Unterschiede werden aber im Zeitablauf geringer, da sich die Milcherzeugungssysteme in Süddeutschland in Richtung der Systeme in Norddeutschland bewegen. Befördert wird dies durch die zunehmenden Kosten für die Arbeitserledigung (z. B. Mindestlohn), die Skaleneffekte in Richtung größerer Herden befördern.

1.2.4 Landnutzungseffizienz und Umwelteffekte der Trends in der Milcherzeugung

Neben den häufig zitierten betriebswirtschaftlichen Kostenvorteilen dieser Intensivierungsstrategie (vgl. Auswertungen der Rinderspezialberatungen der Landwirtschaftskammern und Landesanstalten) werden dort die hohen Leistungen je ha Hauptfutterfläche (bis über 18.000 kg ECM/ha) und damit eine scheinbar hohe Landnutzungseffizienz ebenso hervorgehoben wie kleine CO₂-Fußabdrücke. Dies wird damit begründet, dass der Anteil des Erhaltungsbedarfs relativ sinke und so unter Einbeziehung weiterer Maßnahmen sehr geringe CO₂-Fußabdrücke möglich seien (DLG; 2025). Grundsätzlich ist unstrittig, dass die Milchleistungssteigerungen der vergangenen 50 Jahre gleiche Milchmengen in Deutschland mit weniger Kühen und weniger Treibhausgasemissionen ermöglicht haben. Es ist aber auch unstrittig, dass Milchleistungssteigerungen über eine

Größenordnung von 6.000-8.000 ECM/Kuh hinaus keine systematisch positiven Effekte induzieren müssen (Gerber *et al.*, 2011), sondern dass jenseits dieses Leistungsniveaus andere Managementeffekte das Ausmaß der THG-Emissionen je kg ECM überlagern (Zehetmeier *et al.*, 2012; 2014; Lorenz *et al.*, 2019). Die Frage ist somit, ob gängige Postulate wie „Milchleistungssteigerung = Klimaschutz“ (DLG, 2025) einer Überprüfung jenseits von Einzelfällen standhalten. Im Folgenden werden ausgewählte zentrale Koppel-effekte/“trade off’s“ dieser Intensivierungsstrategie mit dem Fokus auf das Ausmaß der Grünlandnutzung für Deutschland aufgezeigt, so wie sie z. B. im Rahmen von Lebenszyklusanalysen (LCA) in der Literatur (z. B. Basset-Mens *et al.*, 2009; Poore and Nemecek, 2018) Berücksichtigung finden.

1.2.5 Landnutzungswandel – Rezente Dauergrünland-Verlusteffekte auf den ökologischen Fußabdruck der Milcherzeugung

Möglich geworden ist diese Entwicklung der Ausdehnung der Milcherzeugung in Kombination mit stetig steigenden Einzeltierleistungen der Milchviehherden in Norddeutschland – und deutlich abgeschwächt in Bayern – durch höchste Grünlandumwandlungsraten seit 1991 vornehmlich zu Acker und Silomais in den Milcherzeugungsregionen; d. h. die Zunahme der Milcherzeugung in den Regionen mit immer noch vergleichsweise hohen Grünlandanteilen an der landwirtschaftlichen Fläche im Norden, am Niederrhein und auch in Bayern wurde primär durch einen ausgeprägten Landnutzungswandel von Dauergrünland zu Mais ermöglicht, seit 2009 zusätzlich häufig in Kombination mit einer weiteren Wertschöpfung aus der Biogaserzeugung nach Dauergrünland-Umwandlung, weil das EEG 2009 den zusätzlichen Einsatz von tierischen Exkrementen in Biogasanlagen honorierte („Güllebonus“ (EEG, 2009)).

Aus Klimaschutz- und ökologischer Perspektive ist die Milcherzeugung in den westdeutschen Bundesländern jenseits z. B. der Wesermarsch und des Allgäus („absolute Grünlandstandorte“), also überall dort, wo Dauergrünland zugunsten von Silomais in Acker umgewandelt wurde, durch erhebliche „Legacy-Effekte“ rezenter Grünlandumwandlungen in Form nachhaltender Bodenkohlenstoffverluste gekennzeichnet – dies umso mehr, als diese Umwandlungen zu erheblichen Anteilen auf organischen Böden erfolgten. Jüngste Arbeiten zeigen, dass diese „Legacy-Effekte“ über 100 Jahre und länger wirken können. So zeigen Emde *et al.* (2025) für Deutschland, dass unter Grünland auf Mineralböden bei einem Ausgangsniveau von 88 t SOC/ha (Ackerböden: 59 t) über einen Zeitraum von 20 Jahren jährlich etwa 8 % (0,5 t C) abgebaut werden, diese Abbauraten danach aber noch Jahrzehnte auf niedrigerem Niveau weiterwirken. Frühere Übersichtsarbeiten für temperierte Klimate wie von Poeplau *et al.* (2025), Arbeiten aus Norddeutschland (z. B. Struck *et al.*, 2020) oder Modellierungsarbeiten (vgl. Reinsch *et al.*, 2018) weisen kurzfristig deutlich höhere SOC-Abnahmen von 20-36 % in 17–25 Jahren aus. Diese sehr unterschiedlichen Zahlen dürften zum Teil dadurch zu erklären sein, dass die Emde-Daten vornehmlich auf Grünlandumwandlungen in intensiven Futterbausystemen auch vor dem

Jahr 2000 beruhen – also Jahren, die durch hohe C-Zufuhr nach der Grünlandumwandlung in Form von Gülle (ab den 1990er Jahren) bzw. Stallmist (bis in die 2000er Jahre) zu Mais geprägt sind und so den direkten Effekt des sehr unterschiedlichen C-Inputs in Form der unterschiedlichen Wurzelmassen maskieren. Während die unterirdische Biomasse (BNPP – Below Ground Net Primary Productivity) und fBNPP (BNPP/NPP) eines intensiv genutzten Dauergrünland-Bestandes etwa 30–40 % der Gesamtbiomasse ausmacht (Chen *et al.*, 2016; Loges *et al.*, 2018; 2024), sind dies unter Mais weniger als 10 % (Struck *et al.*, 2019). Interessanterweise ist darüber hinaus die Effizienz der organischen Düngung im Sinne der Bodenkohlenstoffspeicherung, ausgedrückt als C-Retention der Gülle-C-Zufuhr im Boden („*slurry induced C-retention*“) unter beibehaltener Grünlandnutzung um ein Vielfaches höher (Wiederfindungsrate von 24 %) als nach Grünlandumwandlung unter folgendem langjährigem Anbau von Mais (3 %) (De Los Rios *et al.*, 2022). Diese Phänomene betreffen ausschließlich den SOC-Pool und damit die C-Senkenfunktion des Bodens. Mit einer Grünlandumwandlung zu Acker sind jedoch erhebliche zusätzliche Treibhausgasemissionen in Form von N₂O-Freisetzen verbunden, die den Netto-Ökosystemaustausch (NEE) und die Netto-Ökosystemkohlenstoffbilanz (NECB) maßgeblich beeinflussen. Reinsch *et al.* (2018) und Struck *et al.* (2020) zeigen, dass je nach Umbruchtermin des Grünlands zwischen 6 (Frühjahr) und bis zu 23 kg N₂O-N/ha (Spätsommer/Herbst) zusätzlich im Jahr nach dem Grünlandumbruch emittiert werden. Sie bestätigen zudem eine Größenordnung von 10–15 % kurzfristigem SOC-Verlust innerhalb von drei Jahren nach dem Landnutzungswandel. In Summe kann konservativ kalkuliert werden, dass die Milcherzeugung auf Ackerflächen auf Basis von Silomais nach einem Grünlandumbruch auf Mineralböden (unter besonderer Berücksichtigung der humusreichen (> 4 %) Böden (Poyda *et al.*, 2021)) über einen Zeitraum von 30 Jahren etwa 5.000 kg CO₂eq p. a. zusätzlich freisetzt. Diese Zahlen setzen sich über den genannten Zeitraum zusammen aus reinen Land Use Change (LUC)-Effekten in Form von SOC-Verlusten von 1 t C je ha (3.667 kg CO₂) und 3–4 kg N₂O-N (1.300–1.700 kg CO₂eq). Ausgedrückt als gesellschaftliche Kosten je ha umgewandelten Grünlands sind für die Kategorie LUC-THG-Emissionen bei einem von verschiedenen Akteur:innen erwarteten CO₂-Preis nach Emissionshandelssystem (*Emissions Trading System* (EU ETS)) von 100 €/Tonne (Rudman, 2025) ab 2030 Größenordnungen von 500 €/ha/Jahr über 30 Jahre anzusetzen – selbst unter Ansatz von 25–30 % höheren Erträgen/ha beim Anbau von Silomais im Vergleich zu Dauergrünland (Opportunitätskosten für Fläche) eine zu beachtende Größenordnung.

Fazit: „Legacy – Effekte“ der Grünlandumwandlung zu Acker und Silomaisanbau belasten den Product Carbon Footprint der Milcherzeugung über zwei bis drei Jahrzehnte sowohl auf organischen wie auch auf mineralischen Böden. Die Beibehaltung der Dauergrünland-Nutzung zur Milcherzeugung hat damit in der Vergangenheit bis heute erhebliche soziale Kosten vermieden. Diese „Legacy-Effekte“ des LUC sollten in der Analyse der THG-Emissionen unterschiedlicher Milcherzeugungssysteme Berücksichtigung finden, was bisher jedoch in keinem „Carbon-Footprint-Rechner“ der Fall ist.

1.2.6 Bodenkohlenstoff und Umwelt – relevante Emissionen der intensiven Grünlandnutzung

In der intensiven Futtererzeugung für Milchkühe hat die relative ökonomische Vorzüglichkeit auf den Betrieben zu einer Verschiebung vom Dauergrünland zum Silomais geführt, zum einen, weil die Energie- und TM-Erträge des Mais im Mittel etwa 25–30 % höher anzusetzen sind als beim Dauergrünland, zum anderen weil die Vollkostenrechnungen der Beratungsinstitutionen je Einheit Futterenergie in der Regel den Silomais als kostengünstiger ausweisen. Ausnahmen stellen die oben genannten absoluten Dauergrünland-Regionen mineralischer Böden dar, aber auch die entwässerten Niedermoore vor allem im Nordosten. Dort schaffen die niedrigen Flächenkosten des Grünlands aufgrund der Kombination von geringem GV-Besatz und absolutem Schutz des Dauergrünlandstatus eine gewisse Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Ackerflächen, welche dort hohe Bodenrenten über Marktfrüchte realisieren können. Diese Konstellation ist in den nordwestlichen Bundesländern (NW; NI; SH) nicht gegeben. In diesen Bundesländern herrscht historisch ein vergleichsweise hoher GV-Besatz vor ($> 1,4$ GV/ha) und die Ackerstandorte sind i. d. R. nicht konkurrenzfähig im Marktfruchtanbau (sandige Böden, geringe Marktfruchterträge), so dass Futtererzeugung und die so genannte Veredlung zu tierischen Produkten vom Acker dominieren. Die klassische Konstellation lautet dort: Grobfutter aus Dauergrünland, zu Teilen von entwässerten organischen Böden einerseits, und aus Silomais von knappen Ackerflächen andererseits, Marktfrüchte (Getreide, Raps, etc.) spielen in den hochspezialisierten Betrieben keine nennenswerte Rolle. Das Grünlandfutter wird etwa zur Hälfte in der Milchviehfütterung eingesetzt, der Rest im Jungviehbereich, d. h. Remontierung und Färsenmast, Mais ist primär der Milcherzeugung zuzuordnen, sowie der Intensivbullenmast.

Jenseits der oben adressierten „legacy“-LUC-Effekte sind diese beiden Futtererzeugungssysteme mit unterschiedlichen Umwelteffekten assoziiert. Im Hinblick auf die Kohlenstoffspeicherung in Böden befindet sich altes Dauergrünland nah dem Equilibrium mit etwa 20–30 Tonnen erhöhten SOC-Mengen je ha im Vergleich zu einer ackerbaulichen Nutzung (Poeplau *et al.*, 2011). Ob Dauergrünland eine Quelle oder Senke für SOC ist, hängt unter temperierten Klimaten von Standortbedingungen ebenso ab wie von der Bewirtschaftungsintensität. So zeigen Arbeiten von Reinsch *et al.* (2018) auf lehmigem Sand, dass die in der intensiven Dauergrünland-Bewirtschaftung (jenseits des sDGL) in der landwirtschaftlichen Praxis häufig vorkommende periodische Grünlanderneuerung in einem etwa 10-Jahresrhythmus (wegen nachlassender Ertragsleistung u. a. aufgrund zu hoher und nicht angepasster Bewirtschaftungsintensität bei zu hoher N-Düngung in Relation zur Nutzungshäufigkeit) dazu führt, dass die SOC-Mengen unter Dauergrünland deutlich unterhalb einer „SOC-Sättigung“ bleiben. Die Erhaltung resilienter Dauergrünlandbestände durch eine angepasste Bewirtschaftung, die Störungen durch Grünlanderneuerungsmaßnahmen weitestgehend ausschließt, ist somit ein aktiver Beitrag zur langfristigen Steigerung der SOC-Mengen im Boden.

Die grundsätzliche Abhängigkeit der SOC-Sequestrierungspotenziale von der Düngung ist evident: Mit steigender Nährstoffversorgung wird der C-Input erhöht und die Menge an gespeichertem C im Boden steigt (Poeplau *et al.*, 2011) – in Abhängigkeit der feinen Bodenfraktion insbesondere die mineralisch assoziierte organische Substanz (MAOM) (Wiesmeier *et al.*, 2013). Aus dieser Perspektive scheint die C-Sättigung vieler Böden häufig noch nicht gegeben (Hassink, 1997; Guillaume *et al.*, 2022; Lockwood *et al.*, 2026)) und u. a. erhöhte N-Zufuhren werden diskutiert, um der Umsetzung dieses Potenzials im Sinne der zusätzlichen Speicherung von Kohlenstoff im Boden (4 Promille-Ziel; 4p1000.org) näher zu kommen. Dabei ist einschränkend festzuhalten, dass zusätzliche hohe N-Zufuhren zwar die SOC-Menge im Boden steigern, jedoch auf Kosten einer Veränderung von Persistenz und Funktionalität. So wird vornehmlich der labile Pool (partikuläre organische Substanz, POM) gesteigert, während die MAOM-Fraktion – nach einer Meta-Analyse von Zhang *et al.* (2022) – nur geringfügig (+2-3 % im Vergleich zu +10 % POM) ansteigt. Dies erfolgt auf Kosten einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Störungen, einer erhöhten mikrobiellen Biomasse und damit einer erhöhten Umsetzungsrate und einer verminderten Nährstoffdichte aufgrund der Verengung des MAOM:POM-Verhältnisses. Unter Stressbedingungen bzw. Störungen wie z. B. einem veränderten Klima wird dieser Befund als kritisch für die Aufrechterhaltung der Funktionalität betrachtet. Realisiert werden kann eine SOC-Akkumulation im Boden im Sinne des 4Promille-Ziels in der Fläche jenseits von Agroforstansätzen offensichtlich nur in der Kombination aus erheblicher zusätzlicher organischer Düngung auf Acker (Riggers *et al.*, 2021), die schon aus Gründen der Verminderung der Nutztierzahlen aus Klimaschutzgründen unrealistisch ist, mit der Neuanlage von Grünland (Poulton *et al.*, 2018; Reinsch *et al.*, 2018; De Los Rios *et al.*, 2022) oder temporärem Grasland mit hohen Anteilen der Ley-Phase in einer Ackerrotation (Poulton *et al.*, 2018). Häufig werden in Verbindung mit den potenziell positiven Effekten zusätzlicher N-Düngung auf die C-Sequestrierung in Böden aus Gründen des Klimaschutzes jedoch gleichermaßen die CO₂-Kosten der Düngerherstellung und die erhöhten N₂O-Emissionen nicht berücksichtigt. Wird dies getan (Poeplau *et al.*, 2025) und werden diese Kosten von der CO₂-Bindung im Boden abgezogen, kann die potenziell zusätzliche Sequestrierung schon allein die erhöhten Emissionen der Düngemittelherstellung nicht kompensieren – die zusätzlichen Lachgasemissionen sind dabei noch nicht berücksichtigt. Lachgasemissionen sind zudem bei ähnlichem Ertragsniveau unter nicht gedüngten Klee-grasbeständen deutlich niedriger als unter mineralisch gedüngten Grasbeständen. Einfach deshalb, weil im Boden unter Klee-gras ein nahezu nitratfreies Milieu herrscht (Schmeer *et al.*, 2014). Daraus resultiert eine gewisse Überlegenheit von Leguminosen-Gras-Systemen, weil nur diese langfristig – wie in mehreren Dauerversuchen in Deutschland gezeigt (vgl. Chen *et al.*, 2015; Reinsch *et al.*, 2018; Loges *et al.*, 2024; Lockwood *et al.*, 2026) – zu Netto-Senken führen (bei jedoch etwas niedrigeren Erträgen). Auch unabhängig von der Berücksichtigung dieser CO₂-Kosten für die N-Düngerherstellung zeigen die Arbeiten von Nüssen *et al.* (2018), dass sowohl bei moderater als auch hoher Nutzungshäufigkeit leguminosenbasierte Grünlandssysteme in der Boden-C-Speicherung konkurrenzfähig sind, obwohl die Wurzellängendichte unter reinen Grasbeständen erhöht ist. Offensichtlich kann somit von

einer gewissen Optimumfunktion bezüglich der Nährstoffversorgung ausgegangen werden, denn jenseits einer bestimmten Dimension an N-Zufuhr führen erhöhte Umsetzungs-raten (Tang *et al.*, 2022) aufgrund verengter C/N-Verhältnisse und entsprechend erhöhter mikrobieller Biomasse zu keiner weiteren C-Akkumulation im Boden bzw. zu einer Situation, die abgesehen von den Düngung-CO₂-Kosten zu C-Abbau im Boden führen kann. So zeigen Poyda *et al.* (2021) mittels Eddy-Kovarianz-Technik, dass hoch intensiv bewirtschaftetes mehr als 30 Jahre altes Vielschnitt-Dauergrünland (4-Schnittnutzung; > 300 kg N/ha) auf produktiven humosen Sandstandorten in Norddeutschland eine eindeutige C-Quelle darstellt. Ohne die Berücksichtigung Stickstoff-assoziiertes Verlustpfades (direkte und indirekte THG-Emissionen) ist somit von einer weitgehenden Sättigung der C-Sequestrierung unter altem Dauergrünland auszugehen. Zusammenfassend ist zum Stand der Forschung zum Kohlenstoff-Sequestrierungspotenzial unter Dauergrünland über lange Zeiträume festzustellen, dass in Abhängigkeit von Klima- und Bodenverhältnissen in Deutschland zumeist nicht von weiteren Steigerungen auszugehen ist. Gewisse Unsicherheiten bestehen lediglich bei manchen tonhaltigen Böden, wo bisher keine Sättigung festgestellt wurde (Bai und Cotrufo 2022; Poeplau *et al.*, 2011).

Der jüngst veröffentlichte Zwischenbericht zur zweiten Bodenzustandserhebung (Poeplau *et al.*, 2025) weist eine erstaunliche Abnahme der Boden C-Mengen von 8 % in 10 Jahren in Grünlandböden Norddeutschlands aus – ohne dass dies dort direkt erklärt werden kann. Im Sinne der oben angeführten Zusammenhänge liegt es jedoch nahe, dass die novellierte Düngeverordnung von 2016/17, die ab 2017 erstmals die mineralisch-organische Düngung unter Einbeziehung der Gärreste auf 170 kg N/ha begrenzte, eine zentrale Rolle spielt. Bis 2017 wurde Grünland häufig deutlich höher mit Gülle und Gärresten gedüngt (vgl. Taube *et al.*, 2015) – mit entsprechend höherer C-Zufuhr, die seitdem ausbleibt.

Werden die Risiken steigender C-Inputs mittels steigender N-Versorgung einbezogen, so wird die Optimumfunktion im Sinne einer Netto-Ökosystem-Kohlenstoffbilanz (NECB) deutlich. Mit steigender N-Zufuhr sowohl aus mineralischen wie aus mineralisch-organischen Düngemitteln steigen vornehmlich – wie oben gezeigt – labile C-Fractionen im Boden an und die Wahrscheinlichkeit steigender Emissionen an reaktiven Stickstoffverbindungen wie an respiratorischen C-Verlusten ebenfalls (Han *et al.*, 2025). Verursacht wird dies – nachgewiesen durch mit Isotopen markiertem Gülle-N (¹⁵N) – durch den Umstand, dass eine mineralisch-organische Düngung (Gülle) primär „den Boden düngt“ und nicht die Pflanzenbestände. Erst nach Mineralisation des *Soil Organic Nitrogen* (SON)-Pools werden pflanzenverfügbare Stickstoffverbindungen durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen (Han *et al.*, 2025; Nannen *et al.*, 2010). Dieser Umweg über verschiedene Umsetzungsprozesse im Boden führt im Vergleich zur Applikation von mineralischem Stickstoffdünger zu einem erhöhten Risiko, dass bei Störungen die mineralisierten reaktiven N-Verbindungen in die Atmosphäre oder mit dem Sickerwasser in aquatische Ökosysteme entweichen.

Unter intensiv gedüngtem Vielschnitt-Dauergrünland sind insbesondere erhöhte Lachgasemissionen aufgrund nicht vollständig ablaufender Denitrifikation gut belegt

(Schmeer *et al.*, 2014; Creme *et al.*, 2017; Feigenwinter *et al.*, 2023). So führt die Interaktion von hohen Anteilen Wasser gefüllter Poren u. a. aufgrund von Bodenverdichtungen bedingt durch viele Überfahrten mit schwerem Gerät und hoher Stickstoffdüngung (> 300 kg N/ha) zu sehr hohen N₂O-Emissionen in einer Größenordnung jenseits von 10 kg N₂O-N/ha (Schmeer *et al.*, 2014). Dieser Effekt tritt in einem selbst regulierenden Leguminosen-Gras-System auf Dauergrünland trotz ähnlicher N-Versorgung aus der N-Fixierung aus der Atmosphäre nicht auf. Grund hierfür ist, dass im Gegensatz zu den mehrfach im Jahr auftretenden Nitrat-Peaks nach einer mineralischen oder organisch-mineralischen N-Düngung unter nicht gedüngten Klee-gras-Beständen durch den Transfer-N-Effekt (Hogh-Jensen *et al.*, 2004; Nyameasem *et al.*, 2021) ein nahezu nitratfreies Milieu im Boden vorherrscht (Feigenwinter *et al.*, 2023).

Bezüglich der Relevanz unterschiedlicher Stickstoffverlustpfade ist für intensiv genutztes Dauergrünland vielfach beschrieben, dass auch hohe Stickstoffdüngung bei Vielschnittnutzung nicht zu erhöhten N-Verlusten über den Pfad Sickerwasser führt, da höchste Wurzellängendichten von bis zu 100 km/m² (Chen *et al.*, 2016) dies verhindern. Dies gilt, solange die N-Mengen auch mit der Ertragsbildung korrespondieren (Svoboda *et al.*, 2013). Unter temporären Trockenstressbedingungen, die im Klimawandel deutlich an Bedeutung gewinnen, kann jedoch gezeigt werden, dass die derzeit empfohlenen bzw. zulässigen N-Düngermengen jenseits von 250–300 kg N/ha (vgl. DüV, 2020) zu erhöhten N-Verlusten über den Pfad Sickerwasser führen (Wachendorf *et al.*, 2004; Nyameasem *et al.*, 2024). Dies gilt umso mehr für mineralisch- und mineralisch organisch hoch versorgte Mähweide- bzw. Weidesysteme, da die Exkrement-Depositionsflecken lokal additiv zur Düngung wirken und zu einer hohen punktuellen Nitratbelastung und entsprechenden Verlusten schon ab N-Mengen von etwa 150 kg N/ha führen können (Wachendorf *et al.*, 2004; Cichota *et al.*, 2013). Ähnlich wie für die regulatorischen Effekte in einem Klee-grassystem bezüglich der N₂O-Emissionen gezeigt, kann dies auch für die Vermeidung von Nährstoffverlusten über den Pfad Sickerwasser gezeigt werden. Smit *et al.* (2021) messen unter hochproduktiven, nicht mineralisch gedüngten, intensiv beweideten Klee-grasbeständen extrem niedrige N-Konzentrationen im Sickerwasser, was u. a. auf die direkte Einstellung der N-Fixierung (pNdfa) nach Urindepotion zurückzuführen ist (Vinther, 1998). Die aktuellen sehr hohen Intensitäten der Dauergrünlandbewirtschaftung zur Milcherzeugung (Reinsch *et al.*, 2021; Sieve *et al.*, 2023) sind im Klimawandel durch mangelnde Resilienz im Sinne der Funktionalität des Bodenkohlenstoffpools gekennzeichnet. In der Konsequenz ergibt sich daraus das Gebot einer gewissen De-Intensivierung der aktuell hoch intensiven Grünlandbewirtschaftung zur Milcherzeugung. Details der Leistungen und der Ausgestaltung derartiger NCS-Systeme werden im Modul II behandelt.

Fazit: Es kann konstatiert werden, dass Dauergrünland auf Mineralböden etwa 20-30 Jahre nach Neuanlage ein neues Equilibrium hinsichtlich der gespeicherten SOC-Mengen ausweist. Während ältere Arbeiten von einer auch in altem Dauergrünland bestehenden gewissen zusätzlichen SOC-Speicherung ausgehen, ist diese Annahme unter den Bedingungen des Klimawandels nicht mehr zu halten. Es geht vielmehr darum, im Gegensatz

zum Acker, der SOC verliert, unter Dauergünland die bisher akkumulierten SOC-Mengen unter Vermeidung zusätzlicher CO₂-Kosten (z.B. Düngerherstellungskosten) zu halten. Daraus kann abgeleitet werden, dass gleichermaßen im Sinne der Funktionalität des Bodenkohlenstoffpools wie der Vermeidung von reaktiven Stickstoffemissionen aus Dauergrünland-Flächen mittlere Intensitäten basierend auf Klee gras- bzw. Klee gras-Kräutersystemen und damit basierend auf NCS (Natural Climate Solutions)-Prinzipien (Ellis *et al.*, 2024; Taube *et al.*, 2025b) zielführend sind.

1.2.7 Systemebene Milcherzeugung Deutschland: Wie werden Landnutzungseffizienz (LUE), Leistungen und Ökoeffizienz in Abhängigkeit der Dauergrünland-Nutzung beeinflusst?

1.2.7.1 Landnutzungseffizienz

Wie unter 1.1. ausgeführt, ist das mikroökonomische Optimum der Milcherzeugung getrieben durch züchterisch-technischen Fortschritt in Verbindung mit Skaleneffekten und hohen Arbeitskosten, tendenziell zugunsten einer Verschiebung der Futterbauflächen zunehmend weg vom Grünland hin zum Acker (Mais; Konzentratfutter - KF) geprägt. Damit verschieben sich jedoch auch die Trade-offs jenseits der oben thematisierten LUC-Effekte. Der Fokus auf die Futterkomponente Silomais ist damit begründet, dass Mais im Mittel deutlich ertragreicher als Dauergrünland im Hinblick auf TM- und Energieerträge ist, nicht jedoch in Bezug auf Proteinerträge. Protein wird dann zunehmend über Zukauffuttermittel (Soja-, Rapsextraktionsschrote) ergänzt, die in intensiv geführten spezialisierten Milchvieh-Futterbaubetrieben als N-Inputgröße im Rahmen einer Hoftorbilanz höhere Werte einnehmen können als die N-Mineraldüngerzufuhr. Indirekt sind dies selbst unter Berücksichtigung bestimmter Allokationskoeffizienten (in den Betrieb importiertes Rapsextraktionsschrot stellt z. B. etwa 50 % des Rapsertages neben dem Ölertrag dar und ist somit nur zur Hälfte als Flächenanspruch anzurechnen) erhebliche „virtuelle Ackerlandimporte“ der Milcherzeugungsbetriebe. Mit dieser Intensivierungsstrategie der Maximierung der Einzeltierleistung können bei optimalem Management durchaus positive Effekte z. B. im Hinblick auf vergleichsweise niedrige Methanemissionen je kg erzeugte ECM verbunden sein (González-Recio *et al.*, 2020) und die wissenschaftliche Community rund um die Milcherzeugung konzentriert sich derzeit mit Klimaschutzargumenten auf dieses Forschungsfeld der Reduktionsmöglichkeiten von Methanemissionen der Hochleistungskuh in „*confinement systems*“ (ganzjährige Stallhaltung) mittels züchterischer Ansätze ebenso wie mittels bestimmter Futterzusatzstoffe. Abgesehen davon, dass Ansätze zur Steigerung der Einzeltierleistung im Wesentlichen auf Verdünnungseffekten (relativ reduzierter Erhaltungsbedarf) bzw. Erhöhung der Energiedichte im Futter, z. B. durch Fettzusätze, beruhen (Rocke *et al.*, 2023), sind die Effekte von Zusatzstoffen mit 10-20 % Reduktionspotenzial – zumeist nur kurzfristig wirkend – bisher überschaubar (Costigan *et al.*, 2024). So werden zwar höhere Methanreduktionen von bis zu 30 % in der Literatur angegeben, die jedoch teilweise mit signifikanten Leistungseinschränkungen verbunden sind (minus 2 % Milchleistung, minus 5 % Futteraufnahme; Johansen *et al.*, 2024) und es werden zum Teil

Rückstandsproblematiken in der Milch (Kuhla, 2024) ebenso vernachlässigt wie die Tatsache, dass die Höhe der Methan-Minderung in der Praxis derzeit nicht kontrollierbar ist (Kuhla, 2024). Und schließlich werden die damit verbundenen Effekte auf die globale Landnutzungseffizienz (LUE) nicht berücksichtigt. Lösungen zur überzeugenden Methanreduktion in Form von Futterzusatzstoffen erscheinen somit weiterhin nicht ausgereift.

Laut den Vereinten Nationen ist eine Zunahme von mehr als 2 Mrd. Menschen bis zum Erreichen der prognostizierten maximalen Weltbevölkerung von ca. 10,4 Mrd. Menschen ab den 2050er Jahren zu erwarten. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die weltweit verfügbaren Ackerflächen im Vergleich zu heute im Klimawandel abnehmen werden. Als Konsequenz haben sich in den wissenschaftlichen Publikationen der letzten 15 Jahren Konzepte zur Sicherung der Welternährung dahingehend etabliert, dass neben weiter notwendigem züchterisch-technischen Fortschritt („nachhaltige Intensivierung“, vgl. Garnett und Godfray, 2012; Searchinger *et al.*, 2021) auch die Landnutzungseffizienz so zu optimieren ist, dass Ackerflächen im Rahmen einer zirkulären Wirtschaft primär der Humannahrung dienen und die Produktion und der Konsum von Lebensmitteln tierischer Herkunft weitgehend auf Reststoffen/Koppelprodukten der pflanzlichen Produktion beruht (Flachowsky *et al.*, 2018; van Zanten *et al.*, 2019; 2023; Rööß *et al.*, 2017; Sandström *et al.*, 2022; McAllister *et al.*, 2025). In der Konsequenz führt dieses Konzept für Deutschland ressourcenökonomisch optimiert dazu, dass die Produktion/der Konsum von Nahrungsmitteln monogastrischer tierischer Herkunft in etwa halbiert wird (vgl. Agora, 2026a) und die Milcherzeugung nur deshalb lediglich um etwa 30 % statt 50 % reduziert wird, weil Wiederkäuer theoretisch die aufgewachsenen Biomassen von 4,7 Mio. ha Dauergrünland, definiert als für den Menschen bisher nicht verwertbarer Rohstoff („*non human edible protein*“), in wertvolles menschlich nutzbares Protein (Milch/Fleisch) umwandeln können (WBAE; 2020; 2025; Grethe *et al.*, 2021). Die Nutzung dieser Grünlandflächen zur Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft gilt auch als Voraussetzung dafür, dass keine *Spillover*-Effekte (Zhong *et al.*, 2024) wirken. Wilkinson (2011) hat als einer der Ersten neben vielen anderen (u. a. Flachowsky und Meyer, 2008) angesichts weltweit knapper Ackerflächen bei gleichzeitig hoher Verfügbarkeit von Graslandflächen, den Vorschlag unterbreitet, neben der Futterverwertungseffizienz (Forage Conversion Efficiency, FCE), die z. B. Rindfleisch im Vergleich zu Geflügelfleisch um den Faktor 3-4 ungünstiger ausweist (Poore und Nemecek, 2018), auch den Quotienten von menschlich essbarem (*human edible*) Protein-output/essbarem Protein-input für das jeweilige tierische Produkt zu nutzen, um so die Verwertung von Reststoffen/Koppelprodukten der pflanzlichen Erzeugung quantitativ auszuweisen und zu würdigen. Mit diesem Ansatz kehren sich die Verhältnisse um: Hohe Anteile von Dauergrünland-Substraten und Koppelprodukten der pflanzlichen Erzeugung in der Futtermischung führen zu Output/Input-Koeffizienten deutlich > 1 , d. h. ohne Ackerflächenkonkurrenz wird ein zusätzliches i. d. R. sehr hochwertiges Nahrungsmittel tierischer Herkunft erzeugt. Werte kleiner 1 zeigen eine zunehmend ineffiziente Verwertung (zusätzliche Verknappung) begrenzter Ackerflächen an und damit wäre ressourcenökonomisch angesichts knapper Ackerflächen die direkte Nutzung des pflanzlichen Produkts (z. B. Getreideerzeugnisse) geboten. In den letzten Jahren ist

dieser Ansatz weiterentwickelt und verfeinert worden und unterliegt hinsichtlich der Koeffizienten für einzelne Futterkomponenten einem dynamischen Prozess, der u. a. den technischen Fortschritt einbezieht. So würden beispielsweise weitere Zuchtfortschritte beim Raps, die das Protein neben der Extraktion des Öls für den Menschen nutzbar machen, das Rapsextraktionsschrot in der Fütterung nicht mehr als „*non human edible*“ klassifizieren, sondern ein bisher klassisches Nebenprodukt der Humanernährung würde als gut begründetes Futtermittel entfallen, weil es zum zweiten Hauptprodukt (Protein) würde. Ineichen *et al.* (2023) nutzen in Anlehnung an Wilkinson (2011) das reziproke Verhältnis Input/Output und zeigen so, dass grünlandbasierte Milcherzeugungssysteme wie in der Schweiz mit mehr als 70 % Grasprodukten in der Ration geringste Landnutzungskonkurrenz um knappe Ackerfläche verursachen. Eben solche Zusammenhänge zeigen Ertl *et al.* (2015) für die Milcherzeugungssysteme Österreichs mit dem Ergebnis, dass Hochleistungsbetriebe im Sinne hoher Milcherzeugung/Kuh – nun wiederum ausgedrückt als Output/Input-Verhältnis – eFCR-Werte zwischen 0,5 und 0,75 aufweisen, also deutlich mehr menschlich nutzbares Protein vom Acker verfüttern als mit dem Produkt Milch bereitgestellt wird. Die Lebensmittelkonversionseffizienz (LKE) nach Ertl *et al.* (2015; 2016) als deutscher Fachbegriff für die edible Food Conversion Rate (eFCR) sinkt mit zunehmenden Leistungsniveaus jenseits von 7.000-9.000 kg Standardmilch/Kuh. Und schließlich zeigen Wild *et al.* (2025) an 52 milcherzeugenden Betrieben (26 paarweise Vergleiche ökologisch/konventionell) repräsentativ über ganz Deutschland verteilt, den gleichen Zusammenhang und können dies sogar dahingehend konkretisieren, dass im Mittel ab einem Konzentratfutter (KF)-Einsatz jenseits von 177 g/kg erzeugte ECM der negative Bereich im Sinne zunehmender Landnutzungskonkurrenz beginnt und sich linear fortsetzt. Diese Zusammenhänge zugunsten niedrigen KF-Einsatzes korrelieren bei Wild *et al.* (2025) zusätzlich positiv mit der Phyto-Diversität, ausgedrückt als Shannon-Index, der dann Werte von über 2 (statt alternativ ~1) erreicht, wenn *Low-Input-Weidesysteme* z. B. mittels der Jungviehaufzucht in die Betriebsorganisation integriert sind. Bezogen auf die Milchleistung/Kuh bedeutet dies zudem eine Bestätigung der Modellrechnungen von Flachowsky und Meyer (2008), die ausgehend von einem plausiblen Nachfrageverhältnis von Milch und Fleisch neben der Bedeutung des eFCR-Koeffizienten und unter Einbeziehung von Fruchtbarkeitsmerkmalen und Lebensleistung seinerzeit ein optimales Milchleistungsniveau im Sinne der Ressourceneffizienz in einer Größenordnung von 8.000 kg ECM/Kuh hergeleitet haben. So wird das Milchleistungsniveau, mit dem eine grünlandbasierte Milcherzeugung (> ~60 % Futter-Energie bzw. -Protein aus Gras) uneingeschränkt möglich ist, in Größenordnungen zwischen 7.000 und 9.000 kg ECM/Kuh eingegrenzt. Zwar muss bei allen diesen Kalkulationen berücksichtigt werden, dass die Proteinqualität der pflanzlichen Nahrungsmittel vom Acker jenseits z. B. von Sojaprodukten nicht 1:1 auf die Wertigkeit des Milchproteins zu übertragen ist (DGE, 2024), was im Übrigen inzwischen auch mit modifizierten LKE-Werten abgebildet werden kann (Ertl *et al.*, 2016), aber dennoch ist die generelle Aussage eindeutig: Angesichts des Umstands, dass der Trend in den Hochleistungsherden dahingeht, dass der durchschnittliche KF-Einsatz bei einem typischen Milchleistungsniveau zwischen 9.000 und 10.000 ECM bei

aktuell 300 g/kg ECM liegt (vgl. Rinderreport SH (LKSH, 2025)) und mit noch deutlich höheren Herdenleistungen sogar darüber liegen kann, ist die Verschiebung der Futterbasis vom Grünland zum Acker offensichtlich.

Ein häufig angeführtes Argument für den eingeschlagenen Weg der Maximierung der Einzeltierleistungen lautet: „Mit immer weniger Kühen gelingt es seit mehr als 15 Jahren in Deutschland stabil über 30 Mio. t Milch p. a. zu erzeugen. Bedingt durch die Leistungssteigerungen/Kuh sind diese mit relativ geringerem Erhaltungsbedarf und damit geringerem Gesamtfutterbedarf assoziiert, verbrauchen also absolut weniger Fläche“. Grundsätzlich ist das korrekt und der züchterisch-technologische Fortschritt hat diese Entwicklung ermöglicht. Ab einer gewissen Einzeltierleistungssteigerung wirken jedoch zunehmend kritische Koppel effekte. Zum einen geht diese Argumentation, das Ausmaß der Reduktion des absoluten Flächenbedarfs betreffend, deshalb fehl, weil mit steigenden Leistungen über externe KF-Zufuhr zusätzliche „virtuelle Fläche“ importiert wird. So zeigen Reinsch *et al.* (2021) in einem Systemvergleich in Norddeutschland, dass eine Grünland-basierte Weidemilcherzeugung mit 7.000 kg Standardmilch/Kuh der Rasse Jersey je kg erzeugte Standardmilch einen ähnlichen Flächenbedarf ausweist, wie eine ganzjährige Stallmilcherzeugung mit Milchleistungen von 11.000 kg Standardmilch und hohem Einsatz von Konzentratfuttermitteln vom Acker. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Futterfläche bei der Weidemilcherzeugung auf dem Betrieb vorgehalten wird, während sie beim Stallmilchbetrieb zu erheblichen Teilen über das Konzentratfutter virtuell importiert wird. Mit anderen Worten: Mit sehr hohen Milchleistungen/Kuh steigt die Flächennutzungseffizienz nicht per se, sie wird nur jenseits des wirtschaftenden Betriebes bereitgestellt. Auch Sorley *et al.* (2024) stellen in einem entsprechenden Systemvergleich in verschiedenen Milcherzeugungsregionen Westeuropas fest, dass zwischen ganzjähriger Stallhaltung und Weide in unterschiedlicher Intensität kaum signifikante Unterschiede im globalen Futterflächenanspruch bestehen.

Heruntergebrochen auf Deutschland gehen diese heimischen Einsparungen an Futterfläche bedingt durch „virtuelle Flächenimporte“ (wobei Soja häufig durch nationales Raps-extraktionsschrot ersetzt wird) primär zu Lasten des Grünlands. Auch der nationale Bedarf an Futtermais ist insgesamt durch den technischen Fortschritt der Milchleistungssteigerungen, wie der Ertragssteigerungen durch Zuchtfortschritte beim Mais (Taube *et al.*, 2020) bei gleicher nationaler Produktionsmenge gesunken. So haben sich die Silomaisfutteranbauflächen in den letzten 20 Jahren trotz steigender Anteile in der Ration verringert. Noch deutlicher als bei der Milch wirkt dieser Effekt des reduzierten Futterflächenbedarfs bedingt durch weniger verfügbare Masttiere aus der Milcherzeugung in der Rindermast: So wird aktuell im Vergleich zur Jahrtausendwende etwa 25 % weniger Rindfleisch in Deutschland erzeugt. Oder mit anderen Worten: Die aktuelle Debatte um eine Reduzierung der Tierzahlen (vgl. z. B. Agora, 2026a) in Deutschland unter dem Aspekt Klimaschutz ist auch eine Debatte um das Ausmaß der Fortsetzung bereits seit langem eingeschlagener Trends bzw. eine Modifikation dieser Trends unter Berücksichtigung weiterer bisher unberücksichtigter Aspekte wie der LKE.

Fazit zum Komplex Landnutzungseffizienz/-konkurrenz: Nach Jahrzehnten einer uneingeschränkt positiv einzuschätzenden Milchleistungssteigerung auf Niveaus von 8.000–9.000 kg ECM/Kuh wirken darüberhinausgehende Milchleistungssteigerungen zunehmend kritisch auf die LKE. In einem Jahrzehnt, das in Europa und weltweit in der Wissenschaft vom Postulat der Notwendigkeit einer Transformation des Agrar- und Ernährungs-(A&E)-Systems aus Gründen weltweit knapper werdender Ackerflächen geprägt ist, bewegen sich die Milcherzeugungssysteme in Deutschland tendenziell in eine gegensätzliche Richtung, indem sie zunehmend knappe globale Ackerfläche beanspruchen und immer weniger der reichlich vorhandenen Dauergrünland-Flächen nutzen.

1.2.7.2 Umweltbelastungen der aktuellen Milcherzeugungssysteme mit reaktiven Stickstoff- und Phosphorverbindungen

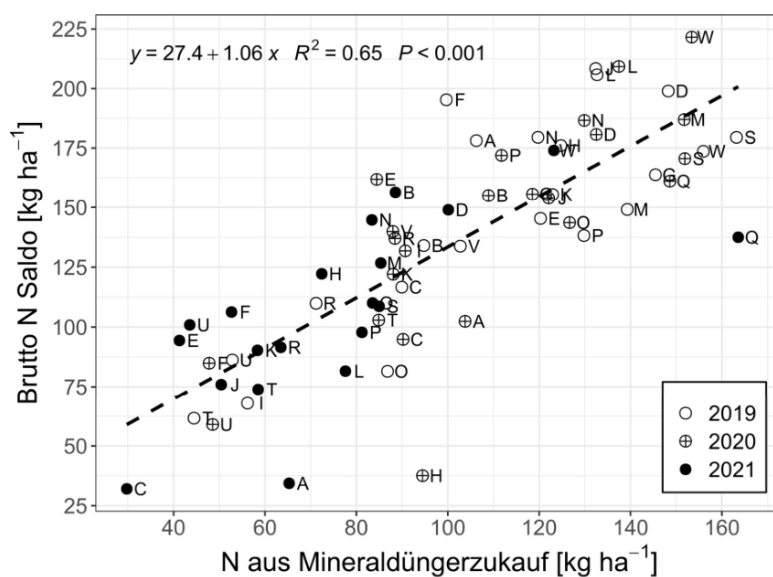
Die oben dargestellten Zusammenhänge für die Landnutzungs- und Lebensmittelkonversionseffizienz (LUE und LKE) haben in Verbindung mit einer Betriebsspezialisierung direkte Auswirkungen auf die Nährstoffnutzungseffizienz für Stickstoff und Phosphor. Mit dem beschriebenen „virtuellen Flächenimport“ findet ein realer Nährstoffimport vor allem an Stickstoff und Phosphor via Konzentratfutterzukauf statt und in der Folge kommt es in spezialisierten Betrieben zur Akkumulation von Nährstoffüberschüssen in Form von organischen Düngern (Gülle). Spezialisierte Milchvieh-Futterbaubetriebe sind definiert als Betriebe mit mehr als 75 % des Standardoutputs aus der Milcherzeugung und dem Verkauf der Altkühe. Bei hochspezialisierten Betrieben, wie sie in vielen Regionen Bayerns, Niedersachsens und Schleswig-Holsteins typisch sind, sind es mehr als 90 % (Ter-gast *et al.*, 2025). Mit zunehmendem Spezialisierungsgrad Milch sinkt die Nährstoffnutzungseffizienz (NUE) des Agrarsystems, da die physiologische Grenze bei der Umwandlung von Futterprotein in Milchprotein unter Berücksichtigung der Jungtiere, die für die Nachzucht/Remontierung benötigt werden, unter einen Wert von $\sim 0,32$, d. h. im Gegensatz zur pflanzlichen Erzeugung mit einer Stickstoffnutzungseffizienz (Output/Input) bei Getreide in der Größenordnung von 75 % und darüber, liegen diese Werte im Milchviehbetrieb deutlich unter 30-35 %. Die einfachen N-Kennzahlen dazu lauten in der Größenordnung für einen typischen hochspezialisierten Betrieb mit 9.000 kg ECM-Einzeltierleistung mit Nachzucht, umgerechnet auf 1 ha Hauptfutterfläche, nachzulesen so oder ähnlich in den Monitoring-Daten der Landesanstalten/Landwirtschaftskammern):

Input: 120 kg N-Mineraldünger + 100 kg N-Konzentratfutter = 220 kg N/ha

Output: 74 kg N in der Milch (14.000 kg Milch/ha) + 6 kg N im Fleisch = 80 kg N/ha

Saldo: + ~ 140 kg N/ha p. a.

In der Literatur (Darstellung 9) ist der Zusammenhang zwischen N-Zufuhr und N-Saldo gut belegt (vgl. Sieve *et al.*, 2023; Tietjens *et al.*, 2025; Wild *et al.*, 2025).



Darstellung 9: N-Bruttosaldo der untersuchten 52 Milchviehbetriebe (Hoftor) in Abhängigkeit der N-Zufuhr aus Mineraldünger (Sieve *et al.*, 2023).

Die Reduktion dieser Überschüsse bzw. die Erhöhung der NUE gelingt entweder durch „Verdünnungseffekte“ mittels Kombination/Kooperation mit dem Marktfrucht-Ackerbau oder durch Reduktion der Intensität.

Im Hinblick auf die Produktionsstrukturen ist zwischen typischen Milchviehbetrieben in den östlichen und den westlichen Bundesländern deutlich zu unterscheiden: Während im Osten Großbetriebe mit Herdengrößen jenseits von 250 Kühen jedoch einem insgesamt geringen GV-Besatz/ha von deutlich < 1 und einer breit gefächerten Anbaustruktur aus Marktfrucht und Futterbau dominieren, die somit einen klassischen Gemischtbetrieb mit niedrigen betrieblichen Stickstoff- und Phosphorsalden abbilden, herrschen in den westlichen Bundesländern historisch gewachsene und im Laufe der Zeit vertiefte Spezialisierungen dahingehend vor, dass in der Regel mehr als 75 %, häufig mehr als 90 %, des Standardoutputs aus der Milcherzeugung realisiert werden und somit bei mehr als 1,4 GV/ha Stickstoffüberschüsse nach Hoftor- bzw. Stoffstrombilanz von 140-160 kg N/ha und 12-18 kg P/ha typisch sind (Reinsch *et al.*, 2021; Sieve *et al.*, 2023; Tietjens *et al.*, 2024; Wild *et al.*, 2025).

Grundsätzlich sollten die P-Salden/ha im Sinne der guten fachlichen Praxis bei gut versorgten Böden ausgeglichen sein, maximal aber 4,3 kg P/ha laut DüV 2017 betragen (Grenzwert 4,3 kg P/ha mit DüV 2020 aufgehoben) und bei Stickstoff sind Maximalwerte bei hohem Tierbesatz/ha von maximal 60-90 kg N/ha zu tolerieren (UBA, 2022), die bei angepasster Bewirtschaftung auch eingehalten werden (Tietjens *et al.*, 2024; Klages *et al.*, 2017). In der Konsequenz bewegt sich die Mehrheit der milcherzeugenden Betriebe in den westlichen Bundesländern im Sinne wissenschaftlicher Evidenz weit ab von der guten fachlichen Praxis der Düngung. Auf Dauergrünland führen N-Intensitäten jenseits von 150-200 kg N/ha zu überproportional erhöhten Stickstoffverlusten (Wachendorf *et al.*, 2004; Nyameasem *et al.*, 2023) in Form von Ammoniak, Lachgas und Nitratauswaschung

– letztere aber immer noch auf vergleichsweise niedrigem Niveau, weil zum einen unter Dauergrünland erhöhte Denitrifikationsleistungen nachgewiesen sind und zum anderen hohe Wurzellängendichten deutlich erhöhte N-Auswaschungen jenseits von 20 kg N/ha unterbinden (Chen *et al.*, 2016; Smit *et al.*, 2023). Unter Mais ist dies gänzlich anders: Die N-Düngebedarfsermittlung laut DüV (2020) führt dort zu sehr hohen N-Auswaschungen (Taube und Bach, 2025) von 30-100 kg N/ha (Svoboda *et al.*, 2013; Komainda *et al.*, 2016; Tietjens *et al.*, 2025, Vogeler *et al.*, 2025). Grund dafür sind der hohe Einsatz an mineralisch-organischen Düngemitteln auf den Betrieben in Kombination mit geringer Wurzellängendichte des Maises (10 % von dem Niveau unter DGL), dem Anbau in Reihenkultur mit weiten Reihenabständen und der Tatsache, dass Mais ab Mitte August kaum noch Stickstoff aufnimmt, im August und September aber noch hohe Mengen aus dem Boden-N-Pool mineralisiert werden und Zwischenfrüchte nach späten Maisernten ineffizient sind (Komainda *et al.*, 2018). Demgegenüber sind Dauergrünland-Bestände nachweislich selbst im Winterhalbjahr bei Temperaturen über 5°C in der Lage, Stickstoffverbindungen aus der Bodenlösung aufzunehmen (Vogeler *et al.*, 2025). In Summe führt die Kombination aus hohem Spezialisierungsgrad und hohem Maisanteil in der Ration zu zusätzlichen N-Auswaschungen über den Pfad Sickerwasser im Vergleich zu einem Dauergrünland- bzw. klee-grasbasierten System von mindestens 30-50 kg N/ha. Bei in der Literatur verwendeten gesellschaftlichen Kosten von mindestens 10 € je kg N-Verfrachtung in aquatische Ökosysteme (van Grinsven *et al.*, 2013) sind die aktuellen Trends in der Milcherzeugung vom Acker mit zusätzlichen nicht internalisierten Umweltkosten in Höhe von 300-500 € je ha Futterfläche belastet (vgl. Reinsch *et al.*, 2021; Taube *et al.*, 2023; Alderkamp *et al.*, 2025; Taube und Bach, 2025) mit entsprechend sehr hohen Stickstoff-Fußabdrücken je kg ECM, die auch zu indirekten THG-Emissionen beitragen. Mit dem Ziel der sogenannten „Gentechnikfreiheit“ haben diese Betriebe zudem Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrote ersetzt mit der Konsequenz, dass durch den um den Faktor 3 erhöhten P-Gehalt in der Rapskomponente die P-Versorgung der Böden weit über Bedarf ansteigt (Taube und Bach, 2025), ebenso wie das Risiko erhöhter P-Verfrachtung in die Gewässer (Schoumans, 1997; Rupp *et al.*, 2018). Eine auf Dauergrünland-Futter basierende Milcherzeugung stellt ausreichende Proteinmengen für Milchleistungen in der Größenordnung von 7.000-8.000 kg Standardmilch bereit und vermeidet damit nicht nur hohe N-Importe via KF auf den Betrieb, sondern auch die damit verbundene P-Akkumulation in Böden.

Fazit: Nach wissenschaftlichen Standards genügen die derzeitigen Milchproduktionssysteme, beruhend auf hohem Betriebs-Spezialisierungsgraden und hohem Ackerfutteranteil, im Hinblick auf die Nährstoffnutzungseffizienz für N und P nicht den Ansprüchen an nachhaltige Produktionssysteme zur Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft.

1.2.7.3 Der Product Carbon Footprint (PCF) der Milch als Teil des Life Cycle Assessment (LCA)

Die Dokumentation einer wenig umweltbelastenden und landnutzungseffizienten Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft ausgedrückt als „Fußabdruck je Produkteinheit“ (angegeben in Emissionen je erzeugte Produkt-, Protein- oder Energieeinheit) im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse (LCA), integriert die obigen spezifischen Ausführungen zu einem komplexen Ganzen (vgl. Poore und Nemecek, 2018). Im Hinblick auf das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz (ANK) auf intensiv genutztem Dauergrünland sind die Treibhausgasemissionen je kg ECM als *Product Carbon Footprint* (PCF) von zentraler Bedeutung. Dies auch deshalb, weil mittels der indirekten THG-Emissionen aus reaktiven Stickstoffverbindungen indirekt auch die Stickstoffnutzungseffizienz in die Kalkulation eingeht. Was in vielen LCA-Ansätzen in der Literatur häufig kaum berücksichtigt wird, sind die Effekte auf die Phyto-Diversität im Futterbau und auf die Grünlandnutzungseffizienz in der Fütterung, ausgedrückt als „*human edible feed conversion ratio*“ (eFCR) oder LKE. So liegen zu den Product Carbon Footprints der Milcherzeugung mit besonderem Bezug zur Landnutzung der Futtererzeugung (DGL versus Acker) seit den ersten Publikationen, z. B. von Cederberg und Flysjö (2004) zwar umfängliche Untersuchungen und Review-Artikel für die europäischen Milcherzeugungsregionen vor (Lorenz *et al.* 2019; Zehetmeier *et al.*, 2020; Dentler *et al.*, 2020; Sorley *et al.*, 2024). Jedoch werden hierbei diese beiden Komponenten (Phyto-Diversität/LKE) nicht prominent berücksichtigt. So zeigen Lorenz *et al.* (2019) in einer weltweiten Meta-Analyse einen hohen Einfluss der Milchleistung/Kuh sowie der Futternutzungseffizienz auf den Product Carbon Footprint, der jedoch durch die Futtergrundlage (Weide; mixed; Stall) dahingehend modifiziert wird, dass im Stallsystem etwa um 4.000 ECM/Kuh erhöhte Milchleistungen realisiert werden müssen, um die höheren CO₂-Kosten der Stallsysteme zu kompensieren. Effekte auf die LKE/eFCR oder N-Salden werden in der Studie nicht berücksichtigt. Zehetmeier *et al.* (2020) zeigen anhand der Analyse von bayerischen Milchviehbetrieben, die eine große Bandbreite an Intensitäten abbilden, dass der Product Carbon Footprint in folgender Rangierung mit dem entsprechenden Erklärungsmaß in Prozent (in Klammern) beeinflusst wird: Futternutzungseffizienz (26); Hoftor-Stickstoffbilanz (23); lokaler N-Emissionsfaktor (15); Milchertrag (13); Remontierung (8), wobei die Futternutzungseffizienz und die Remontierung Synergien zum betriebswirtschaftlichen Ergebnis aufweisen. Futternutzungseffizienz ist dabei ein Proxy für die Verdaulichkeit der organischen Masse, die wiederum die Voraussetzung für eine maximale Futteraufnahme darstellt. Im jüngst erschienenen Übersichtsbeitrag von Alrhoun *et al.* (2025) werden die Erkenntnisse aus über 50 Literaturanalysen mit folgenden Empfehlungen zusammengefasst: Eine agrarökologisch gebotene Transformation der Milcherzeugung aufgrund hoher Emissionen intensiver Stallhaltungssysteme in Europa braucht integrative Ansätze, um lokal angepasste *low-input*-weidebasierte Milcherzeugungsmodelle zu befördern. Dabei ist die gesamte Prozesskette einzubeziehen, und es sind entsprechende Förderungen zu gewährleisten, ebenso wie einheitliche Standards, die auf Zielindikatoren beruhen.

Fazit: Die Erkenntnisse der umfassenden Analyse im Hinblick auf Leistungen und ökologische Effekte der derzeit hoch intensiven Milcherzeugungssysteme und der absehbaren Trends der weiteren Intensivierung lassen den Schluss zu, dass diese den Zielen des Natürlichen Klimaschutzes entgegenwirken: Hohe Einzeltierleistungen in hochspezialisierten Betrieben werden auf Kosten einer ineffizienten Nutzung von knappem Ackerland erzielt, verursachen hohe Umweltkosten durch historischen Landnutzungswandel und durch die aktuelle Ackernutzung, messbar u. a. in Form des Verlustes an Bodenkohlenstoffvorräten z. B. durch einseitigen Maisanbau. Die aktuellen Milcherzeugungssysteme jenseits der absoluten Grünlandregionen sind verantwortlich für hohe Belastungen der Gewässer mit reaktiven Stickstoffverbindungen und Phosphor und tragen zum Verlust der Phyto-Diversität und in Folge auch der faunistischen Diversität in Agrarlandschaften bei. Sie sind nicht kompatibel mit den Ansprüchen an den Natürlichen Klimaschutz.

1.3 Status des Dauergrünlands jenseits der Milcherzeugung – was ist „extensives“ Grünland?

Das Dauergrünland in Deutschland kann hinsichtlich der Bewirtschaftungsintensität und Nutzung, wie unter 1.1 ausgeführt, in zwei große Flächenblöcke aufgeteilt werden (s.a. Darstellung 10): Intensiv mit hoher Nutzungshäufigkeit und Düngung; extensiv mit entweder Wiesennutzung (max. 2-3 Schnitte), zumeist jedoch Mähweidenutzung mit geringer Besatzstärke und fast ohne mineralische Düngung. Eine extensive Nutzung erfolgt grundsätzlich dort, wo eine Ressourcenlimitierung (Wasser, Bodenaufgabe, Temperaturcharakteristika) eine intensivere Nutzung begrenzt. Es gibt jedoch Zwischenstufen: als semi-intensiv ist zum Beispiel die Bewirtschaftungsintensität zur Futtererzeugung für die Milcherzeugung im ökologischen Landbau zu charakterisieren. Intensitätsbestimmende Faktoren sind die Nutzungshäufigkeit und (N)-Düngung. Die Milcherzeugung vom Grünland im Ökolandbau ist auf hohe Futterqualitäten angewiesen, um hohe Futteraufnahmen und hohe Milchleistungen aus dem Grobfutter zu realisieren, die eine hohe Nutzungshäufigkeit voraussetzen, bei reiner Schnittnutzung mindestens 4 Nutzungen als Voraussetzung für die Dominanz von DW-Gesellschaften (intensiv). Gleichzeitig ist aber die N-Versorgung auf Hofdünger und die N-Fixierung via Leguminosen beschränkt, was in Summe in der Regel nur zu verfügbaren N-Mengen für die Ertragsbildung zwischen 80 und 150 kg N/ha führt, statt 250-350 kg N/ha in hoch intensiven Grünlandssystemen. Demnach ist hierbei das Düngungsniveau als vergleichsweise extensiv zu klassifizieren. Die Kombination aus den beiden intensitätsbestimmenden Faktoren Nutzung und Düngung führt in diesem Fall zur Definition semi-intensiv. Übertragen auf die Weide verläuft der Intensitätsgradient der Nutzung entlang dem GV-Besatz/ha bzw. der Nutzungshäufigkeit (in einer intensiven Rotationsweide z. B. mindestens 5 Rotationen p. a.) und des Nutzungssystems (extensive Standweide mit geringem GV-Besatz von max. ~1,4 GV/ha einerseits versus intensive Kurzrasen-, Rotations- und Portionsweide mit hohem Tierbesatz andererseits), wobei diese Systeme zumeist Mähweiden abbilden, da in aller Regel mindestens ein

Aufwuchs (zumeist im Frühjahr) für die Winterfuttermittelsversorgung geschnitten und siliert bzw. (seltener) als Heu konserviert wird.

Funktionstypen des Grünlandes				
Intensiv-Grünland	Semi-intensives Grünland	Extensiv-Grünland	Biotopgrünland	Halboffene Weidelandschaft
Charakteristika				
hohe Nutzungs- und Düngungsintensität; geringe Phyto-Diversität und Resilienz gegenüber Störungen (Trockenstress etc.).	moderate N-Versorgung primär über N-Fixierung Futter-Leguminosen; hohe Nutzungsintensität kombiniert mit Biodiversitätselementen/ Altgrasstreifen, mittlere Phyto-Diversität und hohe Resilienz	geringe Nutzungs- und Düngungsintensität; entweder als Extensiv-Weide/Mäh-Weide oder (seltener) als 2-3 Schnitt-Wiese, Düngung marginal, vornehmlich Hofdünger; mittlere bis hohe Phyto-Diversität, hohe Resilienz	Extensiv-Wiese, Spätschnitt Flora, Fauna: v. a. FFH-LRT	naturnahe, großflächige Ganzjahres-Beweidung, sehr geringe Besatzdichte, mit Rindern u./o. Pferden
Funktion				
Produktionsfunktion – Nachhaltige Bereitstellung von höchstem Ertrag und hoher Futterqualität zu meist über Vielschnittnutzung	Ausgleich von Produktions- und Biodiversitätsfunktion bei hohen Futtererträgen und höchsten Futterqualitäten	Reduzierte Produktionsfunktion mit geringen Verwertungsmöglichkeiten in der Intensivtierhaltung; hohen Biodiversitätsleistungen	Arten-/ Biotop-/ Lebensraum-schutz	Erhalt wertvoller Offenlandlebensräume. Mindest-Offenlandanteil, Arten-, Lebensraum-schutz
Voraussetzung				
hohe Ressourcenverfügbarkeit am Standort (Wasser, Nährstoffe)	mittlere bis hohe Ressourcenverfügbarkeit am Standort (Wasser, Nährstoffe)	Ressourcenlimitierung (Wasser, Nährstoffe, gering Bodenaufgabe)	Extremstandort (Wasser, Relief, Hangneigung, ...)	Fläche extrem strukturiert ökologisch wertvolles GL
konventionell bzw. ökologisch				
Nutzungsformen (Weide, Mahd) auf Grünlandtypen ausrichten!				

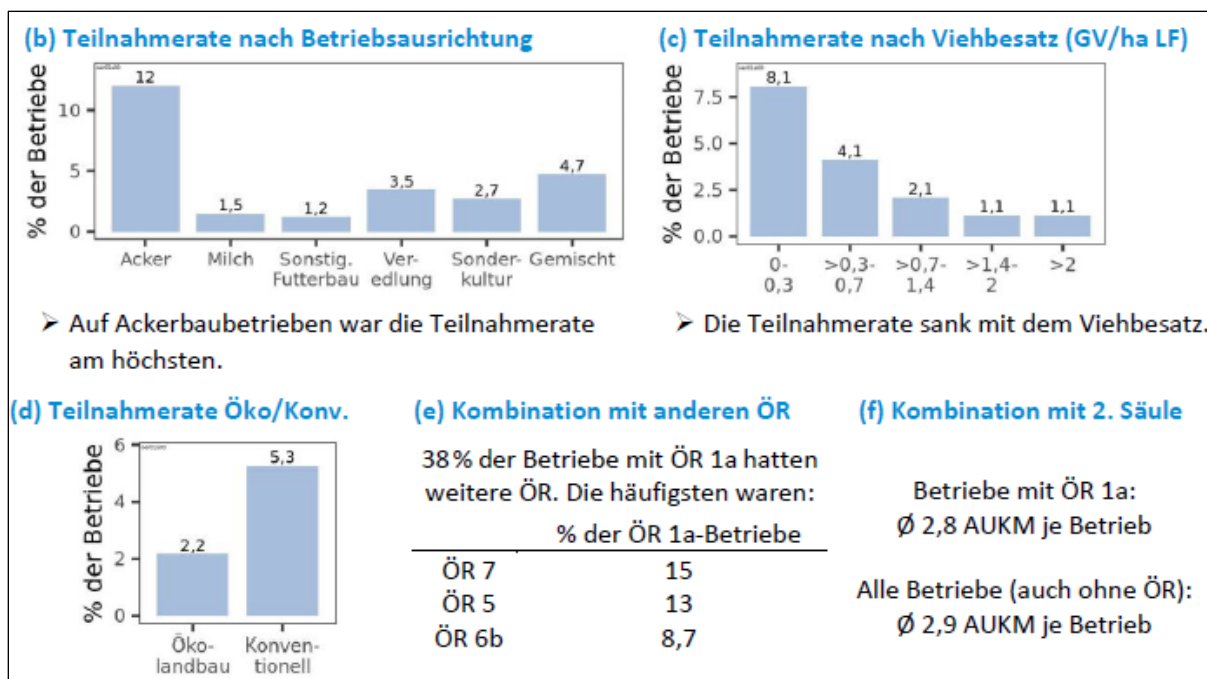
Darstellung 10: Funktionstypen des Grünlandes, verändert nach Hochberg (2022).

Extensiv bedeutet, dass sowohl Nutzung als auch Düngung auf niedriger Intensitätsstufe durchgeführt werden (vgl. Hochberg, 2022). Jenseits dieser großflächigen Blöcke mit jeweils mehr als 1,3-1,9 Mio. ha steht das Biotop-Grünland, das als High-Nature-Value (HNV)-Ressource mit ca. 200.000 ha eine sehr untergeordnete Rolle in der Fläche spielt, aber Hotspots der Biodiversität repräsentiert. Und schließlich sind Übergänge in Richtung

einer Waldvegetation zu benennen, die für den Naturschutz als „halboffene Weidelandschaften“ eine große Bedeutung haben oder aber Mischsysteme darstellen, die eine Doppelnutzung des Grünlands repräsentieren mit Agrarholz -Streifen oder Agri-PV-Systemen, die sich derzeit in unterschiedlichen Abwandlungen zunächst punktuell konstituieren.

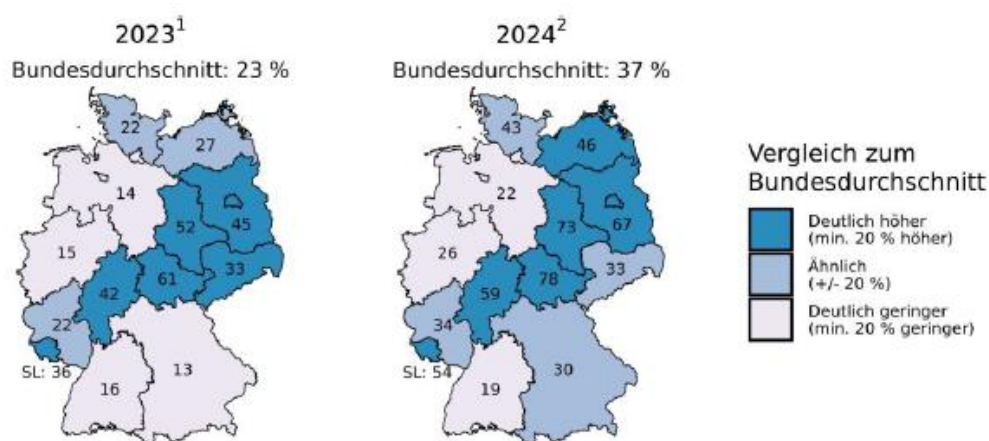
Innerhalb der Klasse des Wirtschaftsgrünlands ist eine extensive Schnittnutzung mit der entsprechenden pflanzensoziologischen „Assoziation“ verbunden. Das führt bei Schnittnutzungen dazu, dass bei einer typischen Vegetationsperiode von 220 bis 250 Tagen in Deutschland weniger als 3-4 Nutzungen im Jahr erfolgen und sich in Folge Wiesengesellschaften des Wirtschaftsgrünlands (z. B. im Tiefland Glatthaferwiesen) etablieren, weil die niedrig aufwachsenden Weidegräser (Untergräser), wie das DW, durch hohe Lichtkonkurrenz der Obergräser (Wiesen- oder Rohrschwengel; Wiesenlieschgras, Knaulgras) und hoch aufwachsender Kräuter verdrängt werden. Das bedeutet, bei weniger als vier Schnittnutzungen (Störungen)/Jahr verändert sich die Pflanzengesellschaft hin zu Arten, die aus ressourcenökonomischen Gründen eine geringere Blattbildungsrate und Triebdichte ausbilden, stattdessen aber eine hohe Blattfläche des Einzelblattes kombiniert mit geringer spezifischer Blattfläche sowie eine hohe Einzeltriebmasse aufweisen und diese Blattfläche lange aufrechterhalten (*Ressource-Conservation-Strategie*). Bezüglich der Wurzel-Traits verändert sich im Vergleich zu Untergräsern der Wurzeltiefgang, der eine erhöhte Toleranz gegen Trockenstress einschließt. Dies führt zu einem wesentlich artenreicheren Pflanzenbeständen, weil der Habitatfilter nicht so dominant wirkt und mehr Raum für Spezies mit „unähnlichen Eigenschaften“ (*dissimilar traits*) v. a. krautartige Arten) entsteht mit mehr als 30 Arten/Aufnahme. Der agronomische Wert leidet darunter jedoch, denn die Ernte dieser physiologisch älteren Biomasse führt im gewichteten Jahresmittel zu deutlich geringerer Verdaulichkeit der organischen Masse und Energiedichten von nur 5,4-5,6 MJ NEL/kg. Da die Energiedichte maßgeblich die Futterraufnahme steuert, ist der Einsatz solcher Substrate in der intensiven Milcherzeugung nicht mehr ökonomisch darstellbar und das bedeutet eine Verwertung derzeitig zumeist über extensive Fleischproduktionssysteme (Mutterkuhhaltung, extensive Mastverfahren mit Rindern und kleinen Wiederkäuern). Ein Einsatz dieses Futters in der Milcherzeugung wäre auch im Hinblick auf den Klimaschutz nicht zielführend, da der Product Carbon Footprint der erzeugten Milch deutlich ansteige (höhere Methanemissionen je kg ECM wegen hoher Faserfraktion und verringerter Futterraufnahme). Bis zur Einführung der Milchquotenregelung im Jahr 1983 war eine extensive bis semi-intensive Nutzung des Dauergrünlands mit max. 3 Schnitten bzw. extensiv geführten Koppelweiden bei mittleren bis hohen N-Düngungsniveaus der Standard der Futtererzeugung für die Milchproduktion in Deutschland. Die erste Schnittnutzung erfolgte Mitte Juni, die Milchleistungen aus dem Grünlandfutter lagen deutlich unter 2.000 kg ECM/Kuh (heute 3.000-5.000 kg) und der deutlich überwiegende energetische Anteil des Futters zur Milcherzeugung kam auch in den 1970er Jahren schon aus KF-Komponenten (Getreide; Soja). Das war aus der Perspektive des Artenreichtums auf dem Grünland noch vergleichsweise positiv, führte jedoch aus heutiger Perspektive zu völlig inakzeptablen CO₂- und Stickstoff-Fußabdrücken der Milcherzeugung.

Wie unter 1.1 angeführt, ist eine wirtschaftliche Erzeugung von Rindfleisch auf dem Dauergrünland beim Ansatz einer Vollkostenrechnung selbst auf Extensiv-Standorten mit geringen Nutzungskosten für die Fläche für die landwirtschaftlichen Betriebe ohne zusätzliche Transferzahlungen kaum gegeben (Agethen und Deblitz, 2025). Entsprechend haben in den vergangenen 20 Jahren Anpassungen dahingehend stattgefunden, dass ergänzende Transferzahlungen im Rahmen der GAP mit dem Ziel des Biodiversitäts- und Ressourcenschutzes bereitgestellt werden mussten, um die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Grünlandbewirtschaftung für die Betriebe auf niedrigem Niveau zu gewährleisten. Daraus haben sich regional zumindest punktuell konkurrenzfähige Modelle der „Prämienoptimierung mit hohem Naturschutzwert“ zum Beispiel in Richtung „halboffene Weidelandchaften“ entwickeln können (vgl. BfN 2026; NABU 2025), die jedoch bisher nur einen sehr kleinen Teil des extensiv bewirtschafteten Grünlands repräsentieren. Der weitaus größte Teil ist bezüglich des Naturschutzwertes als eher wenig ambitioniert einzuordnen, da durch Winterfutterbergung, Beweidung und mittlere Düngungsniveaus typische Weidelgrasgesellschaften in geringer bis mittlerer Intensitätsausprägung dominieren (Klimek *et al.*, 2007). Eine systematische De-Intensivierung von artenarmen Grünlandgesellschaften mit Weidetieren ist aber notwendig, um mittelfristig artenreiche Bestände zu etablieren (Isselstein *et al.*, 2005). Dafür reichen die Vorgaben der ÖR 4 jedoch offensichtlich nicht aus, denn Klimek *et al.* (2007) können an einem Landschaftsausschnitt im Weserbergland und Solling zeigen, dass die aktuellen Vorgaben der ÖR 4 (bis zu 140 kg N/ha) das Arteninventar im Vergleich zu ungedüngten Beständen bereits erheblich begrenzen. Ähnlich wenig ambitioniert ist die ÖR 5 (artenreiches Grünland) mit nachzuweisenden vier Kennarten, wobei die Regelungen in den Bundesländern methodisch unterschiedlich gehandhabt werden. Das alles bedeutet, dass der naturschutzfachliche Wert dieser in 2024 registrierten 1,3-1,7 Mio. ha im Gegensatz zum Biotopgrünland nicht eindeutig zu klassifizieren ist. Überlagert wird ein Teil dieser Flächen auch durch die Nutzung zusätzlicher regional differenzierter Agrarumweltmaßnahmen (AUKM), die laut Reiter *et al.* (2024) im Jahr 2022 insgesamt eine Anzahl von über 900 Einzelmaßnahmen ausweisen. Bezüglich der Nutzung stehen hinter diesen Flächen mehrheitlich Jungvieh-Mähweiden oder auch Mutterkuh-Mähweiden etc. Die Darstellung 11 stellt die statistischen Kennzahlen zu den teilnehmenden Betrieben, die ÖR 4 (extensive Bewirtschaftung) betreffend, dar. Die Darstellung stellt das Problem der ökonomisch kaum verwertbaren Grünlandflächen in den spezialisierten Ackerbaubetrieben (v. a. in den östlichen Bundesländern) überdeutlich dar. Danach dominieren diese Betriebe mit sehr geringem Tierbesatz (0,3-0,7 GV/ha) und Betriebe des ökologischen Landbaus.



Darstellung 11: Teilnehmende Betriebe an der Ökoregel 4 im Jahr 2024 differenziert nach verschiedenen Kategorien (Duden *et al.*, 2025). ÖR1a – Bereitstellung von Flächen zur Verbesserung der Biodiversität und Erhaltung von Lebensräumen, ÖR5 – Kennarten in Dauergrünland, ÖR6b – Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel im Ackerfutterbau, ÖR7 – Natura 2000.

Ein großer Anteil dieser Betriebe kombiniert verschiedene Ökoregeln (v. a. ÖR 5) und nutzt zusätzlich Landesprogramme, die ein Teilbetriebseinkommen erlauben, das die Fortführung der Bewirtschaftung dieses Dauergrünlands gewährleistet. Häufig stehen hinter diesen Grünlandflächen in den östlichen Bundesländern bzw. in den westlichen Mittelgebirgsregionen Nebenerwerbs- oder Zuerwerbsbetriebe (Kivelitz, 2024), die zudem durch eine erhebliche Fragmentierung und Kleinparzellierung in der Landschaft geprägt sind, oder aber es handelt sich v. a. im Nordosten um Grünlandflächen auf organischen Böden.



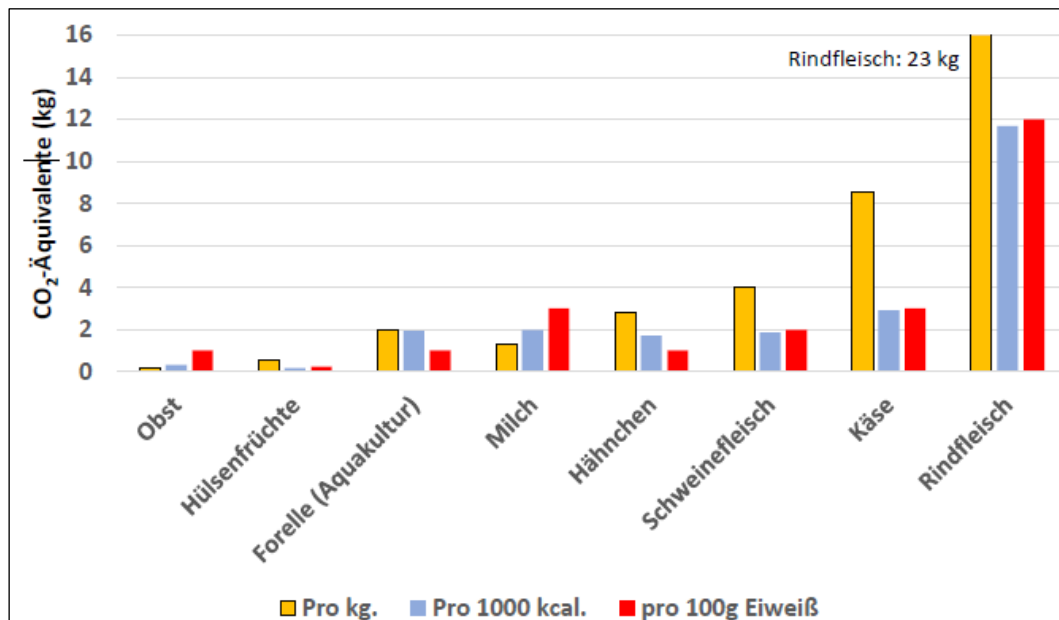
Darstellung 12: Teilnehmende Betriebe an der Ökoregel 5 (Artenreiches Grünland) – Abweichung vom Bundesdurchschnitt in Prozent (Duden *et al.*, 2025; ¹Stand November 2023, ²vorläufige Zahlen, Stand Mai 2024).

Sowohl das Extensivgrünland auf organischen Böden als auch das in den Mittelgebirgsregionen ist im Fortbestand gefährdet. Die extensiv genutzten Flächen auf organischen Böden sind aufgrund der geringen Flächennutzungskosten bei ausreichender Wasserverfügbarkeit präferentiell im Fokus der Vernässungsmaßnahmen. Die klein strukturierten Flächen in den Mittelgebirgen leiden zunehmend unter abnehmender Verfügbarkeit von Rautfutter-fressenden GV insgesamt (östliche Bundesländer) bzw. an abnehmenden Zahlen Masttieren aus dem Milchviehsektor (z. B. Bayern, Baden-Württemberg) und hohen Bewirtschaftungskosten mit Weidetieren (Arbeitskosten), die nach Ansicht von Personen mit Expertise in der Beratung (Interviews im Rahmen dieses Gutachtens) aus dem gesamten Bundesgebiet dazu führen dürften, dass spätestens mit dem Generationswechsel auf vielen Betrieben die Zukunft der extensiven Grünlandbewirtschaftung in Berggebieten noch stärker infrage gestellt wird als bisher. Die europäische Agrarpolitik trägt dieser Entwicklung insofern Rechnung, als die minimalen Ansprüche an die Bewirtschaftung für die Erhaltung des Status „landwirtschaftliche Fläche/Dauergrünland“ zunehmend abgeschwächt werden (periodisches Mulchen ausreichend), um eine offensichtliche Sukzession zu bremsen. Dies wiederum führt aus Sicht des Naturschutzes nicht zu den gewünschten Ergebnissen im Vergleich zu einer Mähnutzung (Bollmann *et al.* 2014; Briemle *et al.*, 1991; Bringmann *et al.*, 2023). Insofern gerät die extensive Grünlandnutzung ohne weitere hohe Transferzahlungen wirtschaftlich für die Betriebe unter Druck und auch aus Sicht der Gemeinwohlleistung ‚Biodiversität‘ ist die Funktion der extensiven Grünlandnutzung bei ‚Unternutzung‘ gefährdet.

1.3.1 Exkurs: Aktuelle Systeme der Rindfleischerzeugung

Warum werden Jungtiere und Masttiere als Koppelprodukte der Milcherzeugung auf den Betrieben immer weniger für die Beweidung herangezogen, z. B. auch als Pensionstiere auf spezialisierten Aufzuchtbetrieben? Zum einen wirkt der züchterisch-technische Fortschritt in der Milcherzeugung (mit wesentlich weniger Tieren werden die gleichen Milchmengen produziert) und daraus resultierend in den letzten 25 Jahren eine Reduktion der Rindfleischerzeugung in Deutschland um 25 %. Greifen zudem Maßnahmen der Wiedervernässung von entwässerten Mooren in den Milch-Bundesländern, dürfte sich der Abbau bis 2045 noch beschleunigen, so dass eine Halbierung der erzeugten Rindfleischmengen gegenüber dem Jahr 2000 realistisch erscheint. Es gibt also schlicht nicht mehr genügend Masttiere für die extensiveren Grünland-Weideflächen. Des Weiteren haben strukturelle Entwicklungen, insbesondere in den großen Herden im Norden und Osten, dazu geführt, dass die Nachzucht und – in weniger spezialisierten Betrieben auch die Mastfärsen und Mastbullen – aus arbeitswirtschaftlichen Gründen im Stall gehalten werden. Der Futtermischwagen hat diesen Trend beschleunigt. Das ist betriebswirtschaftlich nachvollziehbar, führt so aber zu einer weiter verschärften Landnutzungskonkurrenz um knappe Ackerflächen, da die Stallration erhöhte Anteile von Ackerfutter enthält. Diese Entwicklung hat über die letzten Jahrzehnte dazu geführt, dass die Rindfleischerzeugung, ebenso wie zeitverzögert die Milcherzeugung, in hohem Maße Ackerflächen in Anspruch nimmt.

Der Hauptteil der Rindfleischerzeugung in Deutschland entspringt dem Koppelprodukt der Milcherzeugung, sowohl als abgängige Altkühe als auch Tiere aus der Bullen- und Färsenmast – jeweils zunehmend mit Ackerfutter versorgt. Nur die ca. 620.000 Mutterkühe und Mastfärsen in Deutschland sind primär grünlandbasiert gefüttert. Die Bullenmast ist traditionell als Intensivmast organisiert mit hohen Maisanteilen und Ergänzungsfutter aus Getreide und Eiweißkonzentraten in der Ration. So kann für die Bullenmast in Deutschland bei einem durchschnittlichen Schlachtgewicht von 685 kg und 55 % Ausschachtung ein Silomais-Flächenanspruch von etwa 200.000 ha angesetzt werden. Zusätzlich der Eiweiß- und Getreidekomponente wird bei der Bullenmast also ein sehr hoher Anspruch an potenziell menschlich nutzbares Protein bzw. Energie vom Acker gestellt. Dies wird mittels der durchschnittlichen CO₂-Fußabdrücke für Rindfleisch im Vergleich zu anderen Nahrungsmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft bei Nutzung verschiedener funktionaler Einheiten deutlich (siehe Darstellung 13).



Darstellung 13: THG-Fußabdrücke für verschiedene Nahrungsmittel (Grethe *et al.*, 2021).

Die Darstellung 14 (Zutz *et al.*, 2019) zeigt typische Futterrationen und daraus abgeleitete Product Carbon Footprints für das erzeugte Rindfleisch am Beispiel Schleswig-Holsteins. Ochsenmast, die bis in die 1970er Jahre die Weidemast in Norddeutschland prägte, dann aber aufgrund abweichender Eigenschaften des Fleisches (Textur, Fettfarbe) verdrängt wurde, ist in Abbildung 14 nicht aufgeführt, ist aber bezüglich des Product Carbon Footprint aufgrund des langsameren Wachstums im Vergleich zu Bullen in der Größenordnung von Färsenmast zu verorten. Es wird deutlich, dass Masttiere aus der Mutterkuhhaltung etwa einen doppelt so hohen Product Carbon Footprint verursachen wie die Bullenmast als Koppelprodukt der Milchviehhaltung. Andere Arbeiten unter Einbeziehung von HNV-Flächen und lokalen Rassen zeigen für die Bullenmast aus Mutterkuhhaltung noch deutlich höhere Product Carbon Footprint -Werte von deutlich über 35 (Kiefer *et al.*, 2020). Letzteres ist durch die Tatsache bedingt, dass solche sehr extensiven Biotopweiden (in

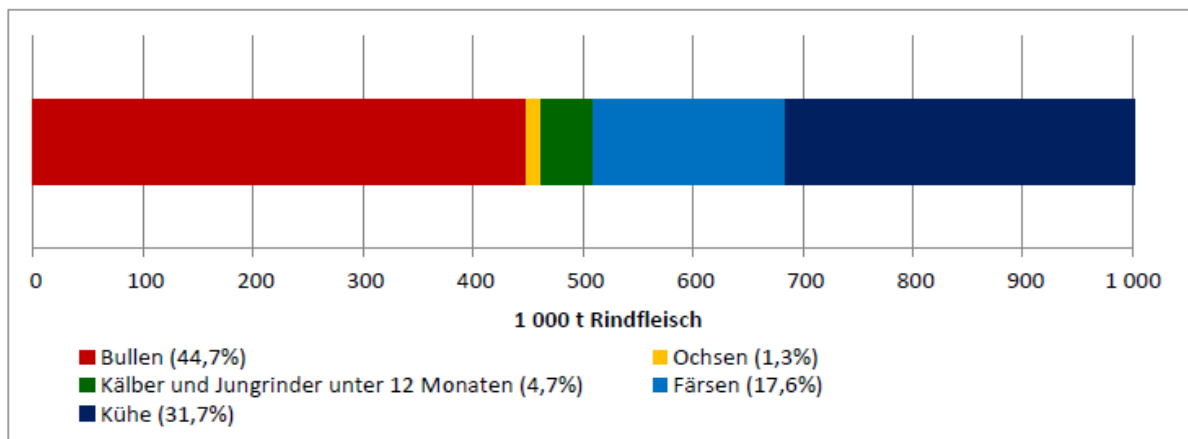
diesem Fall Borstgrasrasen) nicht immer die notwendige Energiedichte von > 10,6 MJ ME/kg TM im Futter aufweisen, um trotz der selektiven Fraßmöglichkeiten ausreichend Futterenergie für tägliche Zunahmen jenseits von 800 g zu gewährleisten. Dort wäre also energiereiches Zusatzfutter notwendig.

Futtermittel (kg TM je Tier)	Milchviehkälber			Absetzer von Mutterkuh	
	Rosé- mast	Färsen- mast	Bullen- mast	Färsen- mast	Bullen- mast
Maissilage	660	0	3.459	0	2.390
Grassilage	0	4.796	0	2.157	0
Weizen	0	412	271	185	187
Stroh	14	0	0	0	0
Mischfutter	212	0	0	0	0
Sojaschrot	114	0	118	0	81
Mineralfutter	10	23	14	10	10
PCF (kg CO ₂ eq/kg SG)	9,47	23,58	13,21	30,42	23,31

Darstellung 14: Rationsbedarf der Masttiere in kg TM je Tier über die Mastdauer und *Product Carbon Footprint* (PCF) der Rindermast je kg Schlachtgewicht (SG) in Schleswig-Holstein (Zutz *et al.*, 2019).

Eine zusammenfassende Einschätzung der Literatur zeigt somit einen klaren Zielkonflikt im Sinne des ANK auf, nämlich zwischen Naturschutz (Offenhaltung der Landschaft durch Extensivweidemast mit Rindern) und Klimaschutzaspekten (sehr hoher PCF des Fleisch-Produkts). Dabei ist noch nicht berücksichtigt, dass bei vielen Product Carbon Footprint - Kalkulationen (siehe Kiefer *et al.*, 2020) eine erhebliche jährliche Netto-CO₂-Senke auch alter Dauergrünland-Böden entsprechend Soussana *et al.* (2004) unterstellt wird – eine Annahme, die im Klimawandel nicht mehr zu halten ist (Poeplau *et al.*, 2025). Als eine Kompromisslinie sind Mischsysteme mit Färsen/Ochsen als Koppelprodukt aus der Milchviehhaltung denkbar, die in Anlehnung an die Mastsysteme in Lateinamerika (75 % des Lebenszyklus auf der Weide; 25 % im Feedlot) organisiert sind, aber effizienter und unter Einhaltung von Tierwohlaspekten zu führen sind: Eine Kombination aus einer mindestens sechsmonatigen Mastweidesaison mit anschließender Ausmästung auf Basis von Mais im Stall. Ein solcher Ansatz, organisiert als genossenschaftliches Projekt von mehreren Betrieben mit gemeinsamer Vermarktung über regionale Wertschöpfungsketten, wird von Kiefer *et al.* (2020) für den Südschwarzwald konzeptionell durchdekliniert. Gegenüber der Mais-Bullenmast wird in jedem Fall die absolute Futter- und damit Landnutzungseffizienz im Vergleich zu Geflügel- oder Schweinefleisch noch ungünstiger. Erst wenn, ähnlich wie in der Milcherzeugung diskutiert, wieder die *human edible feed conversion ratio* (eFCR) berücksichtigt wird, entsteht eine relative Vorzüglichkeit für die zumindest teilweise grünlandbasierten Mastsysteme. Die folgende Darstellung 15 zeigt, dass von der gesamten Rindfleischerzeugung in Deutschland in Größenordnungen von 1 Mio. t lediglich die Ochsen- und Färsenmast und anteilig der geringe Anteil an Altkühen aus der Mutterkuhhaltung der primären Verwertung von Dauergrünland-Futter zuzuordnen sind. Die große Masse der Rindfleischerzeugung beansprucht mit sehr geringer Flächenverwertungseffizienz Ackerflächen und dies sehr ineffizient (niedrige LKE). Daneben

spielen kleine Wiederkäuer (Schaf- und Ziegenfleisch) mit noch einmal ca. 1,2 Mio. Tieren eine gewisse Rolle für das Grünland (vornehmlich für das Biotopgrünland in Mittelgebirgsregionen), machen aber mit einer für 2025 erwarteten Fleischproduktion von nur noch gut 20.000 t (DBV; 2025) aufgrund der Blauzungenkrankheit nur einen Bruchteil im Vergleich zu den in Deutschland erzeugten Rindfleischmengen aus. Die ökonomische Situation der Schaffleischerzeugung führt seit Jahren zum Rückgang der Produktion und hat den Selbstversorgungsgrad (SVG) auf unter 40 % fallen lassen.



Darstellung 15: Zusammensetzung der deutschen Rindfleischproduktion 2024 in 1.000 t (Agethen und Deblitz 2025).

Fazit: Ähnlich wie für das Intensivgrünland gezeigt, deuten die derzeitigen Trends der extensiven Nutzung des Grünlands auf eine abnehmende Attraktivität für die landwirtschaftlichen Betriebe hin. Die Rindfleischerzeugung beansprucht hohe Hektarzahlen an Ackerflächen (> 200.000 ha Mais) und nutzt diese im Sinne der LKE sehr ineffizient. Die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen der Dauergrünland-Erhaltung führen in Regionen mit sehr geringem Tierbesatz zunehmend an Grenzen, weil die Raufutter verzehrenden Tiere fehlen und bisher kaum tragfähige alternative Nutzungen Raum gegriffen haben.

1.3.2 Biotop-Grünland/HNV-Flächen

Das Biotop-Grünland genießt rechtlich hochrangigen Schutz. Bestimmte Biotoptypen sind gesetzlich geschützt (vgl. § 30 BNatSchG). Die Unterschutzstellung von Biotopen mittels Bundes- und Landesgesetzgebung läuft bei vielen Schutzgütern parallel zum Schutz, den die FFH-Richtlinie Anhang I für die Lebensraumtypen (LRT) vorgibt. Viele Lebensraumtypen sind gleichzeitig geschützte Biotope. Weil aber nicht alle Lebensraumtypen ein Pendant bei den geschützten Biotopen haben (z. B. LRT 6510 Magere Flachland-Mähwiesen), sind beide Kulissen nicht vollständig flächendeckungsgleich (Finck *et al.*, 2017). Die gesetzlich geschützten Biotope nach BNatSchG werden durch weitere Länderregelungen ergänzt (vgl. Schoof *et al.*, 2019). Zu diesen Biotoptypen gehören auch bestimmte Dauergrünlandstandorte, wie z. B. Nasswiesen und Trockenrasen. Nach § 30 Abs. 2 BNatSchG sind Handlungen, die zu einer Zerstörung oder einer sonstigen erheblichen

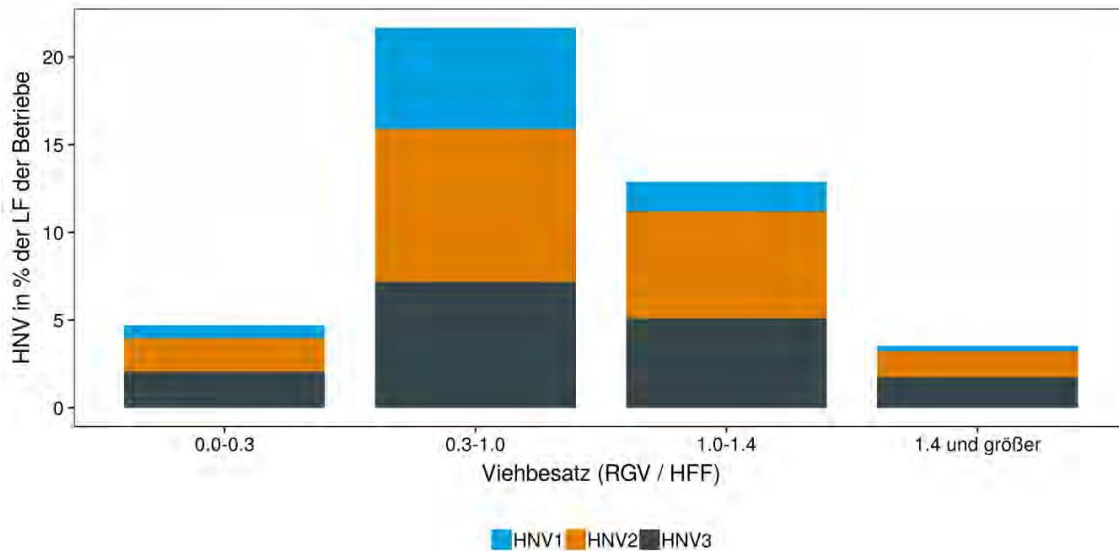
Beeinträchtigung der geschützten Biotope führen können, verboten. Eine erhebliche Beeinträchtigung führt im Gegensatz zur Zerstörung zwar nicht zu einem Verlust, wohl aber zu einer Qualitätsverschlechterung und der Eignung als Lebensraum für die dort zu findenden Lebensgemeinschaften von Tier- und Pflanzenarten. Für das Grünland liegen aufgrund seiner regional unterschiedlichen Ausprägung nach Regionen differenzierte Kenn-taxalisten vor. Entscheidend für die Bewertung ist die Anzahl gefundener Kenn-taxa innerhalb eines definierten und standardisierten Transekts in der betreffenden Nutzfläche (BfN; 2026). Bei den Landschafts- und Strukturelementen finden typspezifisch definierte Kriterien der Arten- bzw. Strukturvielfalt für die Qualitätsbewertung Anwendung. Alle FFH-Lebensraumtypen und gesetzlich geschützten Biotope stellen, soweit sie als Bestandteile der Agrarlandschaft aufgefasst werden, ebenfalls HNV-Farmland dar und werden analog der Einstufung des Erhaltungszustands bei FFH-Lebensraumtypen in den Klassen 1-3 bewertet (Hünig *et al.*, 2017).



Darstellung 16: Anteile des HNV-Grünlands an der Dauergrünlandfläche. (HNV I: äußerst hoher Naturschutzwert; HNV II: sehr hoher Naturschutzwert; HNV III: mäßig hoher Naturschutzwert).

Die aktuelle Situation des HNV-Grünlands, ausgedrückt in Prozent der Dauergrünlandfläche für die Klassen 1-3 über die letzten 20 Jahre zeigt die Darstellung 16 für ausgewählte Bundesländer und Gesamtdeutschland. In Summe sind stabil etwa 5 % der landwirtschaftlichen Fläche dem HNV- bzw. Biotopgrünland zuzuordnen. Das HNV-Grasland hat höchste ökologische Bedeutung, wird entsprechend aufwendig bewirtschaftet, erreicht aber weder für das Dauergrünland noch für andere Lebensraumtypen die Größenordnung der Zielgröße von insgesamt etwa 20 % der landwirtschaftlichen Fläche.

Insbesondere in den Intensivregionen der Tierhaltung (> 1,4 GV/ha) liegt der Anteil deutlich unter 5 % der landwirtschaftlichen Fläche (siehe Darstellung 17).



Darstellung 17: HNV-Flächenanteile nach Viehbesatz; Bundesländer: BB, BW, NI, NW, RP und SH (Schoof et al., 2019). (HNV I: äußerst hoher Naturschutzwert; HNV II: sehr hoher Naturschutzwert; HNV III: mäßig hoher Naturschutzwert).

Fazit: Insgesamt stellen sich die Situation und Perspektiven für das extensiv genutzte Grünland unter besonderer Berücksichtigung des HNV-Grünlands folgendermaßen dar: Der Flächenpool von weit über 1 Mio. ha ist erheblich, davon sind jedoch nur etwa ¼ der Flächen von hohem bis sehr hohem Naturschutzwert. Diese Flächen sollten bzw. müssen gesetzlich erhalten und wenn möglich ausgedehnt werden – möglicherweise auch auf Kosten der Umnutzung von den eher indifferenten Flächen, die ein weniger großes Potenzial aufweisen, hin zu HNV 2- oder 3-Flächen weiterentwickelt zu werden.

Modul 2: Optimierungspotenziale bzgl. Biodiversität und Klimaschutz unter zukünftigen Rahmenbedingungen: weniger Milch- und Fleischkonsum und mehr stoffliche Nutzung

2.1 Vorüberlegungen

1. Im Modul 1 wurde gezeigt, dass die Grünlandnutzung, -wertschöpfung und ökologische Bewertung im Sinne des ANK aktuell auf das Engste mit der Erzeugung von Milch und (Rind)-Fleisch verbunden ist. Die Wertschöpfung aus Milch und Rindfleisch determiniert somit die mikro-ökonomische Bedeutung des Grünlands. Die gesamtgesellschaftliche Bedeutung im Sinne der Gemeinwohlleistungen des Grünlands (Biodiversität; Wasserschutz; Klimaschutz durch SOC-Speicherung) hängt mit dem wirtschaftlichen Nutzen für die Betriebe wie in einer kommunizierenden Röhre zusammen: Ist die wirtschaftliche Situation der Milch- und Fleischerzeugung vom Grünland befriedigend bis gut, sind damit zumindest in einem gewissen Umfang produktionsintegrierte Ökosystemleistungen gesichert. Beides gilt es zu erhalten, denn ohne den privatwirtschaftlichen Nutzen der Betriebe wird es für den Staat voraussichtlich wesentlich teurer bzw. im jetzigen Umfang kaum möglich sein, die aktuellen Ökosystemleistungen zu sichern.
2. Trotz aller notwendigen Innovationen zur Nutzung der Grünlandaufwüchse auf mineralischen Böden über völlig neue Produktlinien der Bioökonomie ist – nach intensivem Literaturstudium – für die kommenden 15-20 Jahre von der primären Nutzung der Biomassen über Raufutterfresser auszugehen.

Zum Ersten, weil Innovationen in alternative Produkte vom Grünland den Grundlagen- bzw. Pilotstatus trotz entsprechender Empfehlungen (vgl. Agora, 2025) bisher nicht verlassen haben. Zum Zweiten, weil in erheblichem Umfang Paludi-Biomasse von ehemaligen Grünlandstandorten auf organischen Böden im Umfang von (perspektivisch laut Szenarienrechnung Agora, 2026a) 500.000–800.000 ha durch Vernässungsmaßnahmen für diese Innovationen bereitstehen dürften, für die zunächst Lieferketten erschlossen und ausgebaut werden müssen. Diese Materialien haben im Gegensatz zu in der Regel verstreut in der Landschaft liegenden Extensiv-Grünlandflächen, die in Frage kämen, den großen Vorteil, dass die Herkunft aus zusammenhängenden Mooregebieten kommen wird und dort somit günstige Allokationseffekte für die Etablierung der Verarbeitungsinfrastruktur gegeben sind. Vor allem aber hat Paludi-Biomasse den Vorteil, dass die Vermeidung von CO₂-Emissionen allein durch die Vernässung einen zentralen politischen und ökonomischen Treiber darstellt, der in Verbindung mit niedrigen Opportunitätskosten für die Fläche vor allem im Nordosten Deutschlands wirkt. Zum Dritten, weil die Biomasse aus Grünlandaufwüchsen insbesondere im extensiven Nutzungsbereich i. d. R. in der chemischen Zusammensetzung sehr heterogen ist und damit standardisierte Produkte z. B. im Ligno-Zellulose-Komplex viel schwieriger zu erreichen sind als mit definierter Holzbiomasse z. B. aus Agrarholzanlagen (Bhatia *et al.*, 2017; French, 2019; Peracchi *et al.*, 2024). Holzartige Materialien haben zudem den Vorteil sehr niedriger, häufig im Verarbeitungsprozess unerwünschter Mineralstoffgehalte (Cl, K, N). Entsprechende Ansätze der Kaskadennutzung in

Kombination mit einer Biogaserzeugung mit dem Ziel, diese negativen Effekte auszuschalten, sind bisher vornehmlich im Wechselgrünland mit physiologisch jungem Material durchgeführt worden (Jørgensen *et al.*, 2022).

2.2 Mehr Rinder als Grünlandnutzer bis 2045: Welche Optionen gibt es?

Allein aus dem Wegfall von Futterflächen durch Wiedervernässung resultiert bei konsequenter Umsetzung im Sinne der Szenarien z. B. von Agora (2026a) ein weiterer Abbau der Rinderhaltung jenseits des in Modul 1 prognostizierten Abbaus aufgrund des züchterisch technischen Fortschritts, denn laut Thünen-Institut (Wittnebel *et al.*, 2023) werden 10-15 % der aktuellen Rinderpopulation in Deutschland auf hochproduktiven organischen Böden insbesondere im Norden und Nordwesten Deutschlands gehalten. Die Rinderhaltung auf Grünland im Nordosten Deutschlands ist z. B. zu 90 % auf organischen Böden lokalisiert und betrifft dort insbesondere die Mutterkuhhaltung. In der Konsequenz ergibt sich daraus, dass der weitere Abbau der Rinderhaltung durch diese 2 Treiber bis 2045 Größenordnungen von 35-40 % im Vergleich zu 2020 betragen dürfte.

Wenn dies so einträfe, dann wären die projizierten Einsparungen der THG-Emissionen aus der Rinderhaltung (z. B. Agora, 2025) allein durch den zu erwartenden Abbau der Tierbestände mehr als erfüllt. Ganz im Gegenteil muss dann die Frage gestellt werden, ob nicht rechtzeitig dergestalt gegenzusteuern ist, dass die ökonomische Attraktivität der Grünlandnutzung für die Erzeugung von Milch und Fleisch durch intelligente Ansätze so zu justieren ist, dass der Zielkomplex bestehend hoher LKE + Reduktion CO₂ -, N- und P-Footprints/Emissionen + Erhaltung der Biodiversitätsfunktion in der Summe überzeugend ist. Nach allem, was in Modul 1 dargelegt wurde, ist offensichtlich, dass eine stärker auf das Grünland als Futterbasis ausgerichtete Milch- und Rindfleischerzeugung die Vorgaben dieses Zielkomplexes weitgehend umfänglich erfüllt – mit gewissen Einschränkungen beim Carbon Footprint. Die alleinige Ausrichtung auf den Carbon Footprint, so wie dies derzeit in den Intensivsystemen seitens verschiedener Akteur:innen umgesetzt wird, führt dementsprechend zu falschen Signalen, da die weiteren Zielmerkmale häufig nicht erfüllt werden.

Es ist unstrittig, dass der weltweite Bedarf an Milch und Rindfleisch deutlich ansteigen wird und Deutschland seinen (wenn auch sehr bescheidenen) Beitrag zur Sicherung der Welternährung über die Bereitstellung von ökoeffizient erzeugten Nahrungsmitteln tierischer Herkunft bei gleichzeitigen Wohlfahrtsgewinnen für den Sektor und die Gesellschaft leisten kann. Gleichzeitig ist es sehr wahrscheinlich, dass die weltweit verfügbare Ackerfläche je Erdbewohner weiter zurückgehen wird (Wachstum Weltbevölkerung; Klimawandel), die erwarteten Ertragssteigerungen im Pflanzenbau nicht ausreichen werden (Ray *et al.*, 2013; Roy *et al.*, 2024) und damit der Bedarf an knapper Ackerfläche für die Humanernährung und Bioökonomie ansteigt. Grethe *et al.* (2021) postulieren einen notwendigen Rückgang der Milch- und Rindfleischerzeugung in der Größenordnung von

30 % bis 2045 in Deutschland, um Klimaziele zu erreichen. Mit dem Wegfall der Futtergrundlage von organischen Böden zunächst im Nordosten später im Westen und Süden (später, wegen höherer Opportunitätskosten) steigt die relative Bedeutung des Mineralbodengrünlands für die Bereitstellung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft mittels ökologischer Intensivierung. Gelingt eine ökologische Intensivierung der Milch- und Fleischerzeugung vom Grünland mit niedrigen Footprints für CO₂, N und P und unter Beibehaltung von Biodiversitätsleistungen, ergeben sich daraus potenziell Erzeugungsmengen, die oberhalb der Empfehlungen zum Konsum entsprechend der DGE liegen. Werden diese Konsumempfehlungen für Milch und Rindfleisch u. a. mithilfe von politischer Steuerung (z. B. Mehrwertsteueranpassung, vgl. WBAE, 2021) perspektivisch Realität, eröffnet dies Exportmöglichkeiten für ökoeffizient erzeugte Nahrungsmittel tierischer Herkunft. Vor diesem Hintergrund ist eine ökoeffiziente Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft vom Grünland zu forcieren, um Chancen zu nutzen.

2.3 Was tun, wenn bis 2045 weder genügend Tiere zur Grünlandnutzung bereitstehen noch überzeugende Optionen der Bio-Ökonomie?

Die Sicht auf das Dauergrünland in Deutschland und Europa ist bestimmt durch die „Konservierung des Bestehenden“. In der europäischen Agrar- und Umweltpolitik werden erhebliche Mittel bereitgestellt, um diesen Status Quo aufrecht zu erhalten, obwohl dies zunehmend weniger gelingt (siehe Modul 1 und vergleiche Varela *et al.*; 2025; Schils *et al.*, 2022). Dies hat zwei Ursachen: zum einen, weil weder die Internalisierung der gesellschaftlichen Kosten der Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft vom Acker noch die Internalisierung der positiven Synergieeffekte der Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft vom Dauergrünland gelingt und deshalb die Ackerfutternutzung zunehmend dominiert; zum anderen, weil politisch eine vergleichsweise statische Betrachtungsebene dominiert, die jenseits einer spezifisch standörtlichen Qualität des Dauergrünlands (HNV) kaum anerkennt, dass Dauergrünland historisch immer auch eine im Umfang variierende Pufferfunktion zwischen ackerbaulicher und forstlicher Nutzung eingenommen hat und Landnutzungswandel so lange mit Grünland assoziiert ist, wie es Grünland in Europa gibt.

Verlässt man den statischen Blickwinkel, so ist offensichtlich, dass zwei Strategien parallel entwickelt werden sollten: Zum einen die Inwertsetzung des Grünlands mit Wiederkäuern in ganz anderen Dimensionen als bisher; zum anderen eine offene Debatte über Landnutzungswandel auch das Dauergrünland betreffend: Eine Umwandlung von Dauergrünland zu Acker in Deutschland wird bis auf flächenmäßig zu vernachlässigende Ausnahmen nicht mehr infrage kommen, da die ökologischen Kosten (zu) hoch wären. Insofern sind die jüngsten Beschlüsse der EU, die regional erlaubte Umwandlung von 5 auf 10 % zu steigern, für Deutschland nicht zielführend, auch wenn das Dauergrünland von dieser Ausnahme ausgeschlossen wird. Es ist aus Sicht des ANK aber auch nicht plausibel, extensiv genutztes Dauergrünland mit mäßigem Naturschutzwert und nicht mehr vorhandenem

zusätzlichen Boden-C-Speicherpotenzial „unbedingt“ zu erhalten, insbesondere dann, wenn trotz der erstgenannten Inwertsetzungsstrategie entweder keine ökonomisch tragfähige Nutzung mehr gegeben ist oder die naturschutzfachliche Aufwertung an infrastrukturellen Problemen scheitert (z. B. das Problem der mangelnden Tierzahlen in der aktuellen Weideschafhaltung etc.). Letzteres ist derzeit vielerorts der Fall bzw. wird zeitnah in noch wesentlich größerem Umfang der Fall sein, wenn die Befunde der Expert:innen-Interviews zutreffen. Unter diesen Voraussetzungen sollte angesichts der Vielfachansprüche an Landnutzung das Spektrum der Optionen auch „kompensatorische Win-win-Ansätze“ ins Auge fassen, die z. B. den Landnutzungswandel der einen HNV-III-Dauergrünland-Fläche mit einer Aufwertung einer anderen Dauergrünland-Fläche im Sinne des Naturschutzes kombinieren. Dies betrifft unbeschadet der aktuellen rechtlichen Regelungen zum einen Schnittstellen zur forstlichen Nutzung (Aufforstungen – *Carbon Capture and Storage* (CCS), Agrarholzsysteme sowie im Gegenzug zusätzliche umfangreiche Mittelbereitstellung zur naturschutzfachlichen Aufwertung extensiven Grünlands durch neue Flächenpotenziale für halboffene Weidelandschaften (BfN; 2026), naturschutzfachlich hochwertige „transition zones“ zwischen beweidetem Dauergrünland und Wald an Waldrändern (vgl. Schmera *et al.*, 2023) oder auch Kombinationen von extensiver Dauergrünland-Weidenutzung mit Photovoltaikanlagen (Hamidi *et al.*, 2024). Dies betrifft aber auch die Ausformulierung hin zu ökoeffizienten Schnittstellen des Grünlands zu ackerbaulichen Nutzungen (Wechselgrünland zur ökologischen Intensivierung von Ackerbausystemen; Ackerbausysteme leiden unter einem Mangel an Kulturartendiversität für Biodiversität in Agrarlandschaften, an dramatisch zunehmendem Mangel an chemischen Wirkstoffen im Pflanzenschutz und an Verlust an Bodenkohlenstoff/Bodenfruchtbarkeit im Klimawandel. Die Kombination mit mehrjährigen Kulturen (Klee gras/Luzerne gras) kann auf sensiblen Ackerstandorten diese Defizite abmildern und die Resilienz des Anbausystems steigern).

2.4 Grundlinien einer zukünftigen Grünlandnutzung im Sinne des ANK

Ein ANK sollte grundsätzlich berücksichtigen, dass eine spezifische ANK-Maßnahme für das Dauergrünland übergeordnete Aspekte würdigt und in entsprechende Empfehlungen integriert bzw. nicht offensichtlich dagegen verstößt, ohne darauf hinzuweisen. Es gilt daher der Grundsatz:

1. Die Flächennutzungskonkurrenz um knappe Ackerflächen stellt im Sinne der Sicherung der Welternährung eine zentrale und übergeordnete Argumentationslinie dar, was bedeutet, dass dem Grünland aufgrund einer günstigen LKE eine zentrale Rolle für die Bereitstellung von Milch und Fleisch bis 2045 zukommen wird.
2. Dies korrespondiert mit der Gewährleistung der Ökosystemfunktionen für Klima-, Wasser- und Biodiversitätsschutz vor dem Hintergrund der im Modul 1 aufgezeigten gesellschaftlichen Kosten aktueller Intensivsysteme mit hohen Futteranteilen vom Acker.

3. Es ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass eine Milcherzeugung vom Grünland keine intensive, sondern eine semi-intensive Bewirtschaftung voraussetzt mit hohen Nutzungsintensitäten bei moderater Düngung zur Erzielung hoher Futterqualitäten und dadurch geringer Methanemissionen bei gleichzeitiger Gewährleistung geringer Nährstoffüberschüsse. Dies impliziert ein begrenztes Pflanzenarteninventar auf den Grünlandflächen. Ebenso ist zu konstatieren, dass Mastverfahren notwendigerweise auf dem Grünland zumindest einen Teil des Lebenszyklus eines Weidetieres mit erhöhten Ökosystemleistungen verbinden und so Biodiversität und Haltung (Weide) zu neuen Qualitätsmerkmalen im Vergleich zu aktuellen Mastverfahren in Deutschland erheben.
4. Und schließlich sind die Ansprüche des Naturschutzes mit der Bewirtschaftung des Extensiv-Grünlands derart weiterzuentwickeln, dass Aufwertungen in Fläche und naturschutzfachlicher Qualität ermöglicht werden (siehe 2.3).

Daraus lassen sich folgende Grundlinien ableiten, die nach der ersten Auswertung der Expert:innen-Interviews mit geschätzten Flächenpotenzialen und Finanzierungsbedarfen hinterlegt sind.

2.4.1 Programm „Grünlandmilch“

Vorgeschichte: Im vergangenen Jahr wurde im Rahmen der Agrarministerkonferenz (AMK) seitens einiger Nord-Bundesländer der Versuch unternommen, im Rahmen der bestehenden GAP eine zusätzliche Ökoregel zugunsten der Weidehaltung zu etablieren. Dies gelang nicht. Stattdessen wurde auf die ÖR4 (Extensive Grünlandbewirtschaftung mit max. 1,4 RGV/ha) als Beitrag zur Grünlandförderung verwiesen mit einer Förderung von 100 €/ha. Diese Förderung ist verbunden mit einer maximalen N-Versorgung von 140 kg N/ha (Anfall aus Tierhaltung). Mehr als 1,3 Mio. ha Dauergrünland wurden nach diesen Vorgaben für 2024 gezeichnet. Die Kontrolle sollte u. a. über die Dokumentation der Düngung im Rahmen der DüV erfolgen, ist aber bisher offensichtlich – laut Rückmeldungen aus den Expert:innen-Interviews – kaum vollzogen worden. Diese ÖR ist aus mehreren Gründen wenig zielführend: Mitnahmeeffekte sind sehr wahrscheinlich, weil Kriterien kaum valide überprüfbar sind; mindestens 0,3 GV/ha bedeuten extensive Bewirtschaftung; 1,4 GV/ha sind nicht mit extensiver Bewirtschaftung gleichzusetzen. Sie entspricht vielmehr dem GV-Besatz vieler typischer Milchvieh-/Futterbaubetriebe und ist eher als mittlere Intensität zu würdigen. Ein positiver Effekt auf weitere Ziele, z. B. reduzierte Konkurrenz um knappe Ackerflächen etc. ist nicht gegeben, vielmehr wird die aktuell zunehmende „Ackermilcherzeugung“ damit nicht adressiert. Andererseits gewährleisten die beiden ÖR 4 und 5, dass die Kosten des Grünlanderhalts im extensiven Bereich annähernd gedeckt werden können und damit eine Akzeptanz im Sektor erreicht wird. Es gibt also gute Gründe, die Akzente der Förderung im Rahmen der GAP nach 2027 bzw. auf nationaler Ebene zu modifizieren, um zielgenauer zu agieren.

Seitens einiger Molkereien wird seit einigen Jahren Frischmilch mit einem Label „Weidemilch“ vertrieben. Dafür ist vorgegeben, dass die Tiere mindestens 120 Tage mindestens sechs Stunden Zugang zu Weideflächen haben müssen. Dieses Label ist regional etabliert, wird nicht durch den Staat gefördert, gewinnt jedoch durch Zulagen der Molkereien in den Weideregionen Norddeutschlands (z. B. Wesermarsch) eine gewisse Attraktivität und zusätzliche Wertschöpfung. Strengere Labels wie „ProWeideland“ verlangen zusätzlich eine Mindestweidefläche von 2.000 m² je Kuh. Da das Maß der Futterraufnahme auf der Weide und insgesamt vom Grünland so jedoch nur sehr indirekt definiert ist („Jogging-Weide“ nicht ausgeschlossen), verwundert es nicht, dass bei Überprüfungen der Inhaltsstoffe von nämlich Weidemilchbetrieben keine charakteristischen Vollweidemilchqualitätsmerkmale isoliert werden können, wie sie bei Vollweidebetrieben das Fettsäuremuster betreffend typisch sind (Molkentin, 2025). Es wäre jedoch mit den zur Verfügung stehenden technischen Mitteln (Fernerkundung etc.) in Verbindung mit INVEKOS-Daten durchaus möglich, in zukünftigen Programmen spezifische Grünlandnutzungen zweifelsfrei zu dokumentieren und zu überprüfen.

Notwendig erscheint daher die Entwicklung eines Förderprogramms mit dem Label „Grünlandmilch“, das sicherstellt, dass die in Modul 1 angesprochenen Fehlallokation der Milcherzeugung auf Ackerfutterflächen mit hohen gesellschaftlichen Kosten und hohem Konkurrenzdruck um knappe Ackerflächen umkehrt, die Milch zurück auf das Grünland bringt bzw. auf dem Grünland hält und eine Förderung beinhaltet, die im Idealfall vermiedene gesellschaftliche Kosten mit den ökonomischen Mehrkosten für die Betriebe in Einklang bringt. Mitnahmeeffekte für Grünlandbetriebe sind dabei explizit zugelassen, denn diese Betriebe haben das Dauergrünland in den Zeiten erhalten, als es noch nicht vor Umwandlung geschützt war und sich somit ideale Gutschriften für SOC-Konservierung und andere vermiedene Umweltkosten verdient (vgl. Modul 1, soziale Kosten der rezenten Grünlandumwandlungen). Die Fragen in den Expert:innen-Interviews stießen bei dem Thema „Grünlandmilch“ durchweg auf höchstes Interesse. Die Grundüberlegung geht von einem modularen Ansatz aus, der die Betriebe in unterschiedlicher Anpassungsbereitschaft an eine Ökologische Intensivierung der Milcherzeugung mitnimmt und dabei in Gänze eine neue „optimale Intensität“ der semi-intensiven Grünlandbewirtschaftung entwickelt, die abweichend von den aktuellen Empfehlungen in Intensivsystemen und rechtlichen Grundlagen in der Düngegesetzgebung, angemessen hohe Anteile an Leguminosen (mindestens 25 %) und Kräuter anstrebt. Diese Vorgabe ist als Initiative hin zu neuen Standards zu verstehen, die bestehende Intensitäten nicht per se diskreditiert, sondern die Anpassung der Betriebe an neue Erkenntnisse solange honoriert, bis diese zum normativen Standard werden. Die zentrale Stellschraube ist die Gewährleistung hoher Milchleistungen aus Energie und Protein aus Grünlandfutter. Loza *et al.* (2021) haben gezeigt, dass es so gelingen kann, bei ansprechend hohen Milchleistungen die spezifischen Methanemissionen je kg ECM, die eine Funktion der Energiedichte und Passagerate des aufgenommenen Futters sind, in Kombination mit entsprechender Tiergenetik (z. B. Jerseyrind) auf niedrigem Niveau (< 12 g Methan/kg ECM) zu halten. Insgesamt führt dieses Verfahren zu sehr niedrigen Carbon-Footprints der Milcherzeugung, wie in Modul 1

ausgeführt und jüngst in Modellrechnungen für Süddeutschland bestätigt (Weggler *et al.*, 2025). Das vorgegebene Ziel sind mindestens 70 % der Energie- und Proteinbereitstellung für die Milcherzeugung aus Gras, mindestens jedoch 50 % aus Dauergrünland-Futter, bis zu 20 % sind aus Ackerkräuterkleegras toleriert. Die Differenz zu 100 (also max. 30 %) wird durch Maissilage bzw. Konzentratfutter toleriert, denn diese Größenordnung ist notwendig, um die Stickstoffverwertungseffizienz des Wiederkäuers auf hohem Niveau zu halten. Das Ackerkräuterkleegras verdrängt Silomais und in geringerem Umfang hoch gedüngtes Ackergras aus der aktuellen Ration und liefert Bodenkohlenstoff, Nahrungshabitat für Insekten und Vorfruchtstickstoff in die Ackerbausysteme. Das Nutzungssystem impliziert junge Aufwüchse mit höchster Verdaulichkeit/Energiedichte – bei schnittdominierten Systemen ohne Weidemöglichkeiten: von > 6,4 MJ NEL/kg TM im Primäraufwuchs bzw. mindestens 6 MJ NEL/kg TM in den Folgeaufwüchsen, bei Ackerkleegras jeweils ca. 0,3 MJ NEL/kg TM höher. Die hohe Nutzungsintensität verursacht durchweg vegetative Aufwüchse mit relativ wenig Blühhabitaten (Ausnahme Weißklee und einige krautartige Pflanzen wie Zichorie). Dies wird mit einer zusätzlichen Biodiversitätskomponente „aufgewerteter Altgrasstreifen“ (Beye *et al.*, 2021) ausgeglichen. Die Beweidung wird zusätzlich honoriert. Daraus ergibt sich ein dreistufiges Angebot, das folgendermaßen ausgestaltet werden könnte (inklusive finanzielle Größenordnungen einer Programmausgestaltung):

Ausgestaltung einer „Grünlandmilchförderung“ – laufende jährliche Förderung/ha:

a) **Bronzestandard: Grünlandmilch**

Mindestens 70 % Energie/Rohprotein sind aus Gras/Kleegras bereitzustellen, davon mindestens 50 % vom Dauergrünland, die restlichen max. 20 % aus mehrjährigem Anbau von Kleegras/Luzernegras und Luzerne. Maissilage ist im Umfang von bis zu 10 % erlaubt. Der Konzentratfuttoreinsatz ist auf 20 % zu begrenzen, maximal aber mit 200 g Konzentratfuttoreinsatz je kg ECM zu dokumentieren. Es ist via INVEKOS-Daten die Flächennutzung dahingehend zu dokumentieren, dass mindestens 0,6 ha Dauergrünland/Kleegras je Kuh bereitgestellt werden (plus entsprechende Flächen für die Nachzucht). Die mineralische N-Düngung ist auf 80 kg N/ha begrenzt, die Gülledüngung auf Grünland und KG mit max. 170 kg N/ha fixiert, zu Mais max. 120 kg Gesamt-N/ha und über die Düngeplanung bzw. den betrieblichen Nährstoffvergleich zu dokumentieren (Herleitung siehe Taube und Bach, 2025). Prämienkalkulation: ca. 20 % Minderertrag Futterflächen und ähnliche; Produktionskosten: 250 €/ha Dauergrünland und Ackerkleegras; Kostenvolumen: 100.000 ha x 250 € = 25 Mio. € p. a.

b) **Silberstandard: Grünlandmilch + Biodiversität**

Siehe a), plus verpflichtender Altgrasstreifen von mindestens 5 % der Dauergrünland-Flächen in Anlehnung an die aktuelle Ökoregel 1d; im Idealfall ÖR1d dahingehend abgewandelt, dass für Altgrasstreifen die Nutzung ab dem 1.8. (statt 1.9.) des Jahres erlaubt ist. Die im Vergleich zur Ökoregel 1d frühere Nutzung zum 1.8. ist verbunden mit der Verpflichtung einer Nachsaat mit einer artenreichen Grünlandmischung auf dem Altgrasstreifen direkt nach der Ernte im August. Prämienkalkulation: s. o. plus

Flächen- und Nachsaatkosten Altgrasstreifen 250 €/ha Hauptfutterfläche (HFF) plus zusätzlich 600 €/ha Altgrasstreifen jenseits der Flächenförderung über ÖR1d; Kostenvolumen: $100.000 \text{ ha} \times 250 \text{ €} + (5.000 \times 600) = 28 \text{ Mio. € p. a.}$

c) **Goldstandard: Grünlandmilch + Biodiversität + Weide**

Trotz der durch Klimawandel bedingten Herausforderungen für die Weidemilcherzeugung aus der Perspektive des Tierwohls (Zunahme der Tage mit Hitzestress im Hochsommer) wird die Weidemilcherzeugung als Goldstandard definiert. Zwar weisen Gauly et al. (2013) darauf hin, dass Hitzestress während der Sommermonate temporär zu mehr Stallhaltung und Stallfütterung führen dürfte, aber sie betonen auch, dass negative Auswirkungen sowohl durch angepasstes Weidemanagement (nur Nachtweide) als auch durch die Bereitstellung von Schatten und Kühlung (Ventilator-Einsatz im Stall am Tage) vermindert werden können. In Summe überwiegen so die Vorteile der Weide. Die Ausgestaltung des Goldstandards beinhaltet: Siehe a)/b), plus Regeln der ProWeideland-Standards, plus Jungvieh auf der Weide (120 Tage Ganztagsweide). Prämienkalkulation: s. o. plus Zusatzkosten Weide: 350 €/ha plus zusätzlich 600 €/ha Altgrasstreifen s. o.; Kostenvolumen: $100.000 \text{ ha} \times 350 \text{ €} + (5.000 \times 600) = 38 \text{ Mio. € p. a.}$

Gesamtsumme a.-c. ~90 Mio. € p. a.

2.4.2 Grünlandmilchförderung - Assoziierte Maßnahmen

Umwandlung Ackerland in Dauergrünland auf sensiblen Standorten

Grundsätzlich ist eine Wiedervernässung der landwirtschaftlichen Fläche auf organischen Böden geboten. Dies wird aber insbesondere dort, wo intensive Milchwirtschaft betrieben wird, höhere Kosten verursachen und voraussichtlich längere Zeit in Anspruch nehmen, als in Regionen ohne intensive Viehhaltung. Der Umstand, dass vor allem in Niedersachsen und auch in Bayern noch ein hoher Anteil der organischen Böden als Acker genutzt wird, der tiefere Grundwasserstände erfordert und dadurch höhere Emissionen verursacht, ist unbefriedigend, zumal die Ertragssicherheit im Ackerbau auf diesen Standorten häufig eingeschränkt sein kann. Vor diesem Hintergrund ist es geboten, eine Prämie für die Neuanlage von Grünland unter Beibehaltung des Ackerstatus zu gewähren. Die Auszahlung der Prämie erfolgt gegen die Verpflichtung, die Fläche mindestens fünf Jahre als Grünland zu nutzen. Insbesondere der Silomais ist auf diesen Standorten unter den gegebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht nachhaltig anzubauen, wird aber angebaut, um den Ackerstatus zu erhalten. Da die rechtliche Situation Grünlandneuanlagen aus vorheriger Ackernutzung ab dem 1.1.2026 voraussichtlich nicht mit dem Dauergrünland-Erhaltungsgebot belegt (vgl. Beschluss der Agrarministerkonferenz 2026), dürfte die Akzeptanz gegeben sein (laut Expert:innen in Bayern stärker als in Niedersachsen). Es ist davon auszugehen, dass ein erheblicher Anteil der geförderten Flächen auch nach den fünf Jahren weiter als Grünland genutzt wird, damit aktuell höhere Wasserstände zulässt, so

Emissionen vermeidet und in der regionalen Landschaftsausschnittbetrachtung den Wasserhaushalt in Richtung Wiedervernässung bewegt. Dies führt bei perspektivischer Umwandlung in Paludi zur Speicherung der bis dahin zusätzlich akkumulierten C-Mengen unter der temporären Grünlandnutzung.

Die erwartete Flächenrelevanz bei einer einmaligen Ansaatprämie von 2.000 €/ha mit einer adaptierten Grünlandansaatsmischung, bestehend aus resilienten Arten wie Rohrschwengel etc., dürfte in einer Größenordnung von 20.000 ha liegen.

Kostenvolumen: 20.000 ha x 2.000 € = 40 Mio. € einmalig

2.4.3 Programm „Grünland-Färsenfleisch“ – als Koppelprodukt der Milcherzeugung

In Modul 1 wurde ausgeführt, dass die derzeitige Bullenmast nahezu ausschließlich als Intensivmast mit Ackerfutter (Mais/Soja) auf Spaltenboden organisiert ist. Das führt zwar zu vergleichsweise niedrigen Product Carbon Footprints, aber auf Kosten eines sehr hohen Anspruchs an Ackerfläche, hoher N-Verluste aus dem Maisanbau und geringer Biodiversitätsleistungen. Aus Sicht der oben formulierten zentralen Forderungen ist allein schon die LKE mit Werten von etwa 0,3 ein Indiz dafür, dass wertvolles Ackerland sehr ineffizient genutzt wird. Auch die Intensiv-Kälbermast mit Bullenkälbern ist in der derzeitigen Form aus mehreren Aspekten kritisch zu hinterfragen (Franz-Wippermann und Knierim, 2021) und die überproportionale Sterblichkeit bei Bullenkälbern unterstützt diese Analyse. Es wurde weiterhin gezeigt, dass die Mutterkuhhaltung aus Klimaschutzgründen problematisch ist, da der Product Carbon Footprint im Vergleich zum Koppelprodukt Rindfleisch aus der Milcherzeugung nahezu verdoppelt ist.

Geboten ist daher komplementär zur Grünlandmilchförderung auch eine Grünland-Rindermastförderung. Es gibt jedoch Zielkonflikte dahingehend, dass allein grünlandbasierte Mastverfahren deutlich geringere Zuwachsraten und damit einen höheren Product Carbon Footprint des Fleischprodukts verursachen. Ziel sollte es daher sein, Hybridsysteme mit hohen Weideanteilen in der Rindermast zu fördern, d. h. Masttiere zumindest im 1. Lebensjahr im Idealfall auf die Weide zu bringen, um die Ökosystemleistung Weidenutzung zu erfüllen und danach zur kurzen Endmast gegebenenfalls im Stall eine „Maismast“ zu tolerieren. Dort wo die Flächenkosten niedrig sind, kann die Weidenutzung auch relativ extensiv erfolgen, es müssen für Mastrinder als Koppelprodukt der Milcherzeugung jedoch Mindestfutterqualitäten von 10,6 MJ ME im aufgenommenen Futter gewährleistet werden, um einen ausreichenden Zuwachs/Schlachtkörperqualität zu erreichen. Das trifft für semi-intensives Grünland uneingeschränkt zu, mit hohen Anteilen an hoch verdaulichen Pflanzenarten und Futterselektionsmöglichkeiten für die Tiere. Punktuell gibt es Ansätze, die Lieferketten in diese Richtung zu organisieren (z. B. „NORLAND-Färsen“ von Danish Crown), es fehlt jedoch ein übergeordneter Ansatz, der dieses System auf größerer Skala etabliert und so sukzessive die Bullenmast aus Ackerfutter substituiert. Um die Skaleneffekte von Veränderungen deutlich zu machen: Es kann bei erwartet weniger als 3

Mio. Milchkühen in zehn Jahren und einem Remontierungsbedarf von 30 % dann immer noch von mehr als 1,5 Mio. Tieren im Jahr für die Mast ausgegangen werden (jenseits der Altkühe). Derzeit dominieren jährlich 1-1,2 Mio. Bullen die Rindermast in Deutschland, die vor allem mit Mais/Getreide/Soja gemästet werden, bei etwa 400.000 Tieren aus der Mutterkuhhaltung. Eine sukzessive und systematische Verschiebung hin zu Grünland- und weidebasierten Mastverfahren ist somit ein großer Hebel im Sinne einer nachhaltigen Dauergrünland-Nutzung. Eine solche nachhaltige Grünlandnutzung mit hohen LKE-Koeffizienten zur Fleischerzeugung, die Synergieeffekte mit Biodiversität, Wasserschutz und akzeptablen spezifischen Product Carbon Footprints gewährleistet, basiert so weit wie möglich auf Weidenutzung. Das wiederum bedeutet, dass Bullenmast aus Gründen der Verfahrenssicherheit nicht infrage kommt und das Nischenprodukt Ochsenfleisch aus Gründen der sensorischen Qualität und einiger spezifischer Fetteigenschaften kein Premiumprodukt mit hohem Skalenpotenzial darstellen wird. Die Premiumqualität des Fleisches ist aber Voraussetzung, um mit dieser Qualität auch die Qualität der Erzeugung uneingeschränkt positiv zu labeln und entsprechende Marktpreise zu realisieren. Der Goldstandard der Fleischqualität ist das Fleisch der Färse und damit wird die Färsenmast (weitestgehend) auf der Weide zum Goldstandard eines Weidefleischprogramms (vgl. Venkata Reddy et al., 2015).

Um dies zu erreichen, sind Zuchtprogramme zur Optimierung von weiblichen Kreuzungstieren für die Weidefärsenmast zu stimulieren. Ähnlich wie in der Milcherzeugung das Agieren mit gesextem Sperma für eine weibliche Nachzucht der Milchrasse Sinn macht, bietet sich für die Nachzucht, die nicht zur Remontierung benötigt wird, ein paralleles Agieren mit weiblich gesextem Sperma aus frühreifen Fleischrassen an, um geeignete Kreuzungstiere für die Mast zu erzeugen. Diese Tiere würden als Fresser von den Milchbetrieben auf entsprechende Grünlandbetriebe transferiert und schließlich entweder z. B. im Herbst direkt von der Weide dem Schlachtprozess zugeführt oder in einer kurzen Stalendmast ausgemästet. Die Akzeptanz der ÖR4 in vornehmlich Ackerbaubetrieben zeigt, dass reichlich Flächenpotenziale für derartige Verfahren bereitstehen, wenn eine Kostendeckung gegeben ist. Hier wird zunächst eine Machbarkeitsstudie empfohlen, um herauszufinden, inwieweit durch kooperative Ansätze zwischen Erzeuger:innen und den weiteren Gliedern in der Kette positive Skaleneffekte entwickelt werden können, die eine grünlandbasierte Färsenmast würdigen. In eine solche Machbarkeitsstudie sind die großen Unternehmen der Fleischindustrie einzubeziehen – ein grundsätzliches Interesse liegt dort (nach eigenen Vorgesprächen) vor.

In der konkreten Umsetzung und zur Entwicklung von Förderprogrammen im Sinne des ANK sind folgende Aspekte zu beachten, die sich aus entsprechenden Forschungsarbeiten und Erfahrungen z. B. aus Österreich speisen (Frickh *et al.*, 2002, Steinwidder *et al.*, 2007;2017):

1. Verwendung von **sehr frühreifen Rassen** (oder Kreuzungen mit diesen) für die Mast: Frühreife Rassen (oder Kreuzungen dieser mit Milchviehkühen) können bei geringem Mast-Endgewicht von ca. 400 kg Lebendgewicht (und trotzdem ausreichender

intramuskulärer Fetteinlagerung für gute Fleischqualität) geschlachtet werden und reduzieren so den Product Carbon Footprint, da der Erhaltungsbedarf in der Mast insbesondere jenseits eines Lebendgewichts von 400 kg überproportional ansteigt. Dies gewährleistet leichte Weidetiere und damit die Erhaltung der Bodenfunktionen unter Dauergrünland.

2. Insbesondere im Bio-Bereich besteht derzeit das Problem, dass die Kälber, die nicht für die Remontierung benötigt werden, möglichst schnell abgegeben werden, um die hohen Kosten der Kälbertränke einzusparen. Die Destinationen dieser Tiere in der Kälbermast sind zum Teil kritisch zu hinterfragen. Insofern sind spezialisierte „Fresserbetriebe“ notwendig, die die Kälber nach dem Absetzen der Milch übernehmen, ausreichend energetisch versorgen und auf die Weide vorbereiten, um sie dann mit etwa 6 Monaten an die Weidebetriebe weiterzugeben.
3. Das Weidemanagement muss hohe Futteraufnahmen durch ausreichende Selektionsmöglichkeiten bzw. ausreichende Anteile an wertvollen Gräsern, Kräutern, Leguminosen sichern, entsprechend sind Kurzrasen- oder Umtriebsweiden günstig. Virtuelle Zäune (Wilms *et al.*, 2025), die zumindest teilweise physische Zäune durch GPS-Ortung + Funkverbindung+ akustisches bzw. elektrisches Signal ersetzen, können dort sinnvoll eingesetzt werden. Ein „Hybrid“-Ansatz bedeutet, dass neben dem Grünlandfutter in der maximal zweimonatigen Endmastration im Stall bis zu 4 kg TM Maissilage/Tier/Tag möglich sind.
4. Mastverfahren sind auch auf Basis von Klee-/Luzerne- bzw. Grassilage in der Stallfütterung möglich und können so ein Potenzial eröffnen, um Rinder in Ackerbauregionen zurückzubringen (Fruchtfolgeglied Klee gras/Rind).
5. Mutterkuhbetriebe sollten bei der Umstellung zur Färsenmast so weit wie möglich begleitet und gefördert werden.
6. Milchviehbetriebe sind bei der Etablierung einer zusätzlichen „Fressermast- bzw. Färsenmastschiene“ zu unterstützen.
7. Da es diese Programme in ausreichend großem Maßstab bisher fast nicht gibt, sind auf der Vermarktungsseite Fleischqualitätsklassifizierungen, die bisher auf intensive Bullenmast ausgerichtet sind (EUROP-Klassifizierungen in der derzeitigen Ausprägung) zu hinterfragen bzw. zu ergänzen und anzupassen.
8. Konsequente Fleischreifung (Edelteile) ist zu gewährleisten.
9. Gemeinsam mit Schlachtindustrie und Handel sind Qualitätsprogramme zu etablieren.

Es wird in diesem Rahmen, anders als bei der „Grünlandmilch“, bewusst auf Schätzungen der möglichen Fördervolumen verzichtet. Dies sollte in entsprechenden Ausschreibungen/Machbarkeitsstudien erfolgen. Ein Ziel dieser Machbarkeitsstudien sollte es sein, die derzeit wenig zielführenden ÖR 4 und 5 im Sinne einer adäquaten Produktentwicklung (ergänzend zu den Anliegen zur Erhaltung der Phytodiversität) mit Mehrwert zu ergänzen bzw. teilweise zu substituieren. Da diese Entwicklungen Zeit benötigen werden, ist im Übergang die Mutterkuhhaltung, trotz ungünstiger Product-Carbon-Footprint -Werte, weiter zu fördern. Wie oben gezeigt, wird mit der Wiedervernässung der organischen Böden im Nordosten Deutschlands maßgeblich die Mutterkuhhaltung betroffen sein. Derzeit spielt dieses Verfahren auch in den Mittelgebirgsregionen in ganz Deutschland – häufig

mit kleinen Herden von < 20 Tieren und im Nebenerwerb – einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Weidewirtschaft und damit der Biodiversitätsleistungen in den Agrarlandschaften des Berglandes. Die ökonomische Situation dieser Betriebe ist jedoch als sehr schwierig einzustufen und ohne weitergehende Förderungen von der Aufgabe bedroht (Landwirtschaftskammer NRW, 2025). Entsprechend sind Förderungen zur Erhaltung dieses Betriebszweiges komplementär zur Förderung der Färsenmast im Sinne des ANK zur Gewährleistung einer Inwertsetzung des Dauergrünland jenseits der Milcherzeugungsregionen geboten. Da die Mutterkuhhaltung durch Tierprämien jenseits des ANK gefördert wird, wird in diesem Rahmen keine zusätzliche Förderstrategie ausgeführt, jedoch dringlich auf die notwendige Anpassung der Förderung hingewiesen.

2.4.4 Ausgestaltung einer „Grünlandmilchförderung“ – Investive Maßnahmen – ANK-NABO

ANK NABO I Grünlandmilch-Heutrocknung

Investitionszuschuss Heutrocknung: Mit dieser Maßnahme erfolgt eine erhebliche Aufwertung der Futterqualität und damit der Konkurrenzfähigkeit der Grünlandmilcherzeugung. Bei frühen Nutzungszeitpunkten wird das Erntegut auf der Fläche nur schonend angetrocknet auf TS-Gehalte von > 35 % und daraufhin unter Dach unter Nutzung erneuerbarer Energien auf 83 % TS getrocknet. Die Futterqualität steigt stark an, eine Grundfutterleistungssteigerung um 2,000 kg ECM ist möglich, vor allem wird die Futteraufnahme um bis zu 2 kg/Tag erhöht und es wird damit die Substitution von Protein durch zugekauftes Konzentratfutter deutlich gefördert, da der Anteil des nutzbaren Proteins aus Heu im Dünndarm der Kuh optimiert wird. Eine Förderung ist an die Teilnahme am Programm Grünlandmilch gebunden; der Goldstandard wird präferentiell gefördert.

Die Investitionssummen sind erheblich; ein Investitionskostenzuschuss bis zu 250.000 € ist geboten. Bayern hatte bis 2024 ein entsprechendes Programm aufgelegt, was inzwischen eingestellt worden ist – insofern besteht keine Gefahr der Doppelförderung.

Kostenvolumen: Förderung 250 Anlagen x 200.000 € = 50 Mio. €

ANK NABO II Grünlandmilch-Weide-Infrastruktur (nur Goldstandard)

Das Angebot richtet sich an Betriebe, die von Stallhaltung auf Weide umstellen und fördert standardmäßig Wegebau und Tränke-Systeme auf der Weide; Melkroboterzuschüsse sind anteilig möglich. Kostenvolumen: je nach Investitionssumme Förderung 500 Betriebe x 50.000 € = 25 Mio. €

ANK NABO III Grünlandmilch-Leuchtturmprojekt – Heißlufttrocknung (überbetrieblich)

Um das Grünlandfutter qualitativ aufzuwerten und Konzentratfutter vom Acker zu substituieren, sind Trocknungsverfahren zur Gewährleistung höchster Proteinqualität zu fördern. Trotz des Interesses an einer Heutrocknung werden interessierte Betriebe häufig die Investitionssumme nicht aufbringen. Ihnen in Grünlandregionen die

Heißlufttrocknung basierend auf Erneuerbaren Energien anzubieten (vornehmlich Betriebsgemeinschaften), erhöht nochmals die Wertschöpfung aus Grünlandfutter über das Angebot transportwürdiger Cobs mit höchstem Proteinwert. Kostenvolumen: je nach Investitionssumme Zuschuss für 12 Anlagen a x 1 Mio. € = 12 Mio. €

ANK NABO IV Milchindustrie – Forschungsprojekte: Etablierung „Label Grünlandmilch“

Es wurde gezeigt, dass das Label „Weidemilch“ („Goldstandard“) bisher nur im Norden und Westen auf Akzeptanz stößt. Insbesondere in den südlichen Bundesländern ist Weidenutzung für das Milchvieh häufig aus Mangel an hofnahen Flächen nicht möglich – dort wird der „Bronzestandard“ = Grünlandmilch das zentrale Instrument darstellen, um die Milchkühe wieder stärker grünlandbasiert zu ernähren. Die Umfrage im Expert:innen-Gremium zeigte dort höchste erwartete Zustimmungsraten auf den Betrieben.

Kostenvolumen Forschungsprojekte 3 x 1 Mio. €

Summe ANK NABO I-IV – Fördervolumen Grünlandmilch: 90 Mio. €

2.4.5 „Wilde Weiden“ und mehr

Förderung halboffener Weidelandschaften und Grünland HNV-Flächen

Eine investive Förderung zielt hier darauf ab, einerseits (a.) bestehendes Biotop-Grünland im Erhaltungs- und Verbesserungsstatus zu sichern und andererseits (b.) Potenzialflächen von vergleichsweise extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen (z. B. ÖR4/5-Flächen oder Ackerflächen auf trockenen Grenzstandorten) in Richtung Biotop-Grünland zu entwickeln, letzteres mit dem Ziel, halboffene Weidelandschaften zu schaffen, die über die Toleranz von Sukzession mit Gehölzstrukturen zusätzlich Bodenkohlenstoff speichern. Und schließlich sollten dort, wo (c.) die Potenziale zur Erhöhung des Naturschutzwertes begrenzt sind und die Verfügbarkeit der Pflegeinfrastruktur (Personal; Raufutterfresser) nicht mehr gewährleistet werden kann, Übergänge zur forstlichen Nutzung (Waldweide; Agrarholz) bis hin zur Aufforstung im Sinne eines naturnahen Klimawaldes eine letzte Option darstellen. Ein Problem der kontinuierlichen ANK-Förderung in diesem Bereich ist die föderale Förderstruktur, die mit den AUKM-Programmen der Länder kollidieren könnte. Vor diesem Hintergrund werden die zentralen Defizite in der Umsetzung der Ziele in (a.-c.) mittels einmaliger investiver Maßnahmen adressiert.

a.) Infrastruktur-Bereitstellung zur Wiederherstellung verbuschter Grünlandbiotope

Ziel der ANK-Förderung muss es sein, mittels investiver Maßnahmen dazu beizutragen, über die Biotoppflege Lebensraumerhaltung und -wiederherstellung von Grünlandbiotopen zu gewährleisten. Es wird empfohlen, eine Umsetzung über eine Kooperation zwischen den regionalen ANK-Koordinationsstellen und etablierten Landschaftspflegeverbänden vor Ort (z. B. DVL) in den Regionen zu gewährleisten. Förderwürdig sind

einmalige Infrastrukturmaßnahmen, die dazu beitragen, die Lebensraumtypen zu erhalten bzw. aufzuwerten. Im Einzelnen fallen darunter:

- Geräte und (einmalige) Personalkosten zur Entbuschung von Lebensraumtypen
- Vergabe von entsprechenden einmaligen Aufträgen
- Investitionen zur Gewährleistung überzeugender Schäferrevierkonzepte (Zäune, Tränken, Tierkauf; Futterzukauf)

Die Förderung erfolgt auf Antrag von regionalen Landschaftspflegeverbänden im Benehmen mit der jeweiligen ANK-Koordinierungsstelle. Die Förderung sollte mindestens 80 % der Investitionssumme abdecken, im Einzelfall (Maschinen/Geräte) bis 100 %.

Kalkulierte Anzahl Maßnahmen: 2000 x mittlere Kosten der Einzelmaßnahme 15.000 €

Kostenvolumen: je nach Investitionssumme und Antragsvolumen = 30 Mio. €

b.) Entwicklung extensiver Flächen hin zu Grünlandbiotopen – mehr HNV-Grünland

Insbesondere dort, wo aus naturschutzfachlicher Sicht Potenziale gesehen werden, Grünlandbiotopflächen zu erweitern, z. B. durch Überführung von extensiven Grünlandflächen in Grünlandbiotopflächen oder Umwandlung von trockenen Ackerflächen mit diesem Ziel, sind Investitionsmittel für die Initialphase der Umwandlung zu gewähren. Dies gilt für den Zukauf von Grünland- oder Ackerflächen, die z. B. in artenreiche Kalktrockenrasen weiterentwickelt/umgewandelt werden können, ebenso wie für Anfangsinvestitionen bei langfristigen Pachtverträgen mit Bewirtschafter:innen. Als Leuchtturmprojekte können Landschaftspflegehöfe in der Etablierungsphase kofinanziert werden, wenn seitens der weiteren Akteur:innen ebenfalls Finanzmittel bereitgestellt werden. Modellhaft können Ansätze wie das Projekt „Bunde Wischen“ in Schleswig-Holstein stehen. In diesem Programm sind innovative Ansätze besonders zu würdigen, z. B. die Nutzung von Weidetieren jenseits von Rindern und Schafen. Der Mindest-Projektflächenumfang sollte 50 ha betragen, größere potenzielle Flächenareale sind bevorzugt zu fördern – dafür sind kooperative Ansätze zu fördern bis hin zu „holländischen Modellen“, d. h. die Förderung von Kooperativen, die die Flächen im Auftrag der Landwirt:innen managen.

Kostenvolumen: je nach Investitionssumme Zuschuss von in Summe 50 Mio. €

c.) Übergänge von extensivem Grünland in forstliche Nutzung

Dort wo die Verfügbarkeit der Pflegeinfrastruktur (*man power*; Raufutterfresser) auf vergleichsweise extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen jenseits der Grünlandlebensraumtypen/HNV-Grünland absehbar nicht mehr gewährleistet werden kann, sind Übergänge zur forstlichen Nutzung mit Übergängen (z. B. Agrarholz) in Erwägung zu ziehen. Da die Agrarholz/Agroforst-Etablierungsförderung auf Landesebene organisiert ist, sind Überlegungen dahingehend zu prüfen, Zuschüsse zur Aufforstung naturnaher Wälder im Übergangsbereich zwischen Dauergrünland und Wald bereitzustellen, da gerade die Aufwertung der Waldrandbereiche durch Aufforstungen mit klimaresilienten Baumarten interessante Perspektiven eröffnet (Bauhus, 2026, pers. Mitt.).

Investitionssummenhülle: 20 Mio. €

2.4.6 Bio-Ökonomie

Wie ausgeführt, sind Ansätze der Bioökonomie zur Verwertung von Grünlandaufwüchsen speziell des Grünlands auf Mineralböden bisher nahezu ausschließlich auf Ansaatbestände des temporären Grünlands bzw. auf Klee gras beschränkt (vgl. Elshani et al., 2025; Stodkilde et al., 2026), sind ausgerichtet auf die Bereitstellung von Proteinkonzentraten für die Schweine- und Geflügelfütterung (Danish Ministry of Agriculture, 2023), sind derzeit noch vergleichsweise weit von einem Umsetzungsstadium auf der Großflächenskala entfernt (vgl. Gregersen Echers et al., 2025) oder sind aufgrund spezifischer Inhaltsstoffe bisher nur schwer in der Humanernährung verwertbar (Mattsson et al., 2026). Sie werden zudem voraussichtlich durch die anfallenden Biomassen aus Paludikulturen in den Hintergrund gedrängt. Es wird daher hier nicht explizit zur Förderung mit einem Finanzvolumen hinterlegt. Gleiches gilt für die Nutzung von Grünlandaufwüchsen für die Pyrolyse: Die in Zukunft verpflichtende 4. Reinigungsstufe zur Klärung kommunaler Abwässer wird in erheblichem Umfang Biokohlen nachfragen. Ein Problem, um vom Labor- und Pilotmaßstab in die Fläche zu kommen, sind die sehr unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften der Biokohlen in Anhängigkeit des Ausgangssubstrats. Diesbezüglich scheinen holzartige Materialien Vorzüglichkeit zu genießen. Bisher ist es zumindest nicht gelungen, im Großmaßstab standardisierte Biokohlen von Grünlandaufwüchsen bereitzustellen. Dieser Bereich adressiert damit nach wie vor die Forschungsförderung für F&E-Vorhaben.

Häufig diskutiert wird der Einsatz von Dauergrünland-Aufwüchsen zur Erzeugung von Biogas. Die jüngste politische Weichenstellung in Richtung Bio-Methan gibt dieser Nutzung aktuell wieder eine zunehmende Aufmerksamkeit. Dabei gilt es festzuhalten, dass sich die spezifischen Biogas-/Methanerträge aus der Vergärung physiologisch junger Grasaufwüchse nicht wesentlich von denen aus Silomais unterscheiden, diese Werte sinken jedoch mit späten Schnittzeitpunkten deutlich ab und technische Probleme im Fermenter nehmen insbesondere bei Mono-Fermentation auf Basis Gras zu (Schwimmschichten etc.). In der Konsequenz bedeutet das, dass Dauergrünland mindestens 4x im Jahr genutzt werden müsste, um diese ökonomisch bedingten Standards einhalten zu können. Das macht das Verfahren jedoch teuer und im Vergleich zu Mais weniger ertragreich. Zudem widerspricht die hohe Nutzungsfrequenz dem Ziel artenreicher Bestände im Extensivgrünland. Punktuell kann die Verwertung von Dauergrünland-Aufwüchsen über die Biogaserzeugung bei geringen Feld-Fermenter-Entfernungen und einer überzeugenden Kraft-Wärmekopplung eine gewisse Bedeutung erlangen. Diese Voraussetzungen sind jedoch häufig nicht gegeben (Kelm und Taube, 2007).

2.4.7 Mob grazing

In der jüngsten Vergangenheit werden ausgehend von den Trockengebieten der Welt basierend auf natürlichem Grasland Nutzungsformen des sogenannten *Mob grazings* oder „*holistic grazing*“ propagiert und potenziell positive Effekte auch auf temperierte Klimate übertragen. Dabei handelt es sich ursprünglich um eine *Rangeland*-Nutzung, die die Beweidung großer natürlicher Graslandflächen mit großen Herbivoren simuliert, wie sie bis vor 200 Jahren in der Prärie und in den Savannen üblich war. Gekennzeichnet ist das System dadurch, dass sehr hohe Biomasseaufwüchse mit hoher Tierdichte (> 100 Tiere/ha) über einen sehr kurzen Zeitraum einmal oder zweimal im Jahr beweidet werden mit der Konsequenz sehr hoher Weidereste, die durch die Tiere in den Oberboden eingetreten werden und damit eine „Litter-Schicht“ am Boden bilden, die die Evapotranspiration reduzieren und die Kohlenstoffsequestrierung im Boden fördern soll. Abgesehen davon, dass derartige Ansätze im Einzelfall stark variieren können, sind sie nur in langfristigen Experimenten hinsichtlich einer validen Aussage überprüfbar. Die wenigen Arbeiten, die diese langjährige seriöse experimentelle Arbeit geleistet haben, kommen zu wenig eindeutigen Ergebnissen. Roberts und Johnson (2021) gehören zu den wenigen, die die Effekte eines derartigen Nutzungssystems langjährig (18 Jahre) in semi-ariden Arizona untersucht haben mit dem Ergebnis, dass die C-Sequestrierung im Vergleich zu einem Umtriebsweidesystem nicht positiv beeinflusst war, jedoch unerwünschte Arten einwanderten, was die Autoren u. a. auf eine erhöhte temporäre Bodenverdichtung zurückführen. Jordon *et al.* (2024) führen Angaben über erhöhte Boden-C-Mengen neben geringen Effekten durch eine tiefere Durchwurzelung vor allem auf unvollständig abgebautes Streumaterial zurück, das in den Boden eingetreten wurde. Die nachhaltige Steigerung der C-Mengen im Boden sei schon deshalb unwahrscheinlich, weil die erhöhte Zufuhr nicht der MAOM-Fraktion zuzuordnen sei und daher eine langfristige Speicherung dieses Materials durch die MAOM-Sättigungsfunktion limitiert sei. Und schließlich fällt bei vielen Arbeiten in diesem Kontext auf, dass das Mob grazing auf Ackerland getestet wurde, häufig aus Mangel an Rauhfutterfressern als Ersatz für ein mehrjähriges intensiv genutztes Klee gras oder Luzernegras (Trickett und Warner, 2022; Lang *et al.*, 2022). Zu bedenken ist auch, dass die Futterqualität durch die sehr langen Aufwuchszeiträume drastisch abnimmt und damit die Wahrscheinlichkeit erhöhter Methanemissionen je produzierte Einheit Rindfleisch zunimmt (Billman *et al.*, (2020). In Summe ist zu konstatieren, dass zu wenige gut belastbare Ergebnisse vorliegen, die dieses Verfahren als grundsätzlich förderwürdig im Sinne des ANK Grünland hervorheben.

Modul 3: Synthese

Das vorliegende Gutachten erweitert bewusst die Perspektive von der primären pflanzenbaulichen und botanischen Sichtweise auf das Dauergrünland und damit verbundenen Aspekten für den Natürlichen Klimaschutz hin zu einer Einbettung des Grünlands in eine Systembetrachtung im Sinne des ANK und darüber hinaus. Dies ist notwendig, weil die spezifischen Optionen der Veränderung der Dauergrünland-Nutzung im Hinblick auf eine Variation von Nährstoffversorgung, Nutzungsart und Nutzungshäufigkeit vergleichsweise wenig Auskunft darüber geben, ob die Einbettung in ein damit verbundenes Produktionssystem von Milch und Fleisch dem Natürlichen Klimaschutz zuträglich ist oder nicht. Weiterhin ist die vergleichende Systembetrachtung im Modul 1 geboten, um potenzielle *Spillover*-Umwelteffekte zu identifizieren, die bei alleiniger prominenter Fokussierung auf die Bereiche Biodiversität und Klima unberücksichtigt blieben und schließlich ist die vergleichende Analyse zu entsprechenden Produktionssystemen der Milch- und Rindfleischerzeugung vornehmlich aus Acker- statt Grünlandfutter notwendig, um die Umweltkosten der Futtererzeugung in der ganzen Breite einordnen zu können und daraus Größenordnungen einer gut begründeten Förderung der Grünlandnutzung im Sinne des ANK abzuleiten.

Mit diesem Vorgehen wird ersichtlich, dass die derzeitige nahezu ausschließliche Nutzung des Dauergrünlands für die Milch- und Fleischerzeugung auf Mineralböden in Deutschland durch die zusätzliche Berücksichtigung der Bewertungsmerkmale Landnutzungskonkurrenz um knappe Ackerfläche (*human edible feed conversion ratio* – eFCR – in deutscher Sprache: Lebensmittelkonversionseffizienz LKE) sowie N- und P-Überschuss bzw. -Verlustpotenziale (Wasser- und Klimaschutz) eine zusätzliche Aufwertung erfährt. Diese Merkmale sind entsprechend zu berücksichtigen, um Fehlschlüsse zu vermeiden. Ohne diese Berücksichtigung würde die reine Betrachtung einer Product-Carbon-Footprint - Milch bzw. eines -Rindfleisches deutlich zugunsten intensiver Hochleistungssysteme mit Futter vom Acker tendieren und das Dauergrünland in diesen Intensiv-Systemen wäre aufgrund hoher N-Intensität und Nutzungshäufigkeit mit der Folge sehr artenarmer Bestände kaum besser zu bewerten als Ackerbausysteme.

Das Gutachten zeigt im Modul 1 auf, dass der Trend insbesondere der Milch-, aber auch nach wie vor der Rindfleischerzeugung aktuell – zumindest jenseits der klassischen Grünlandregionen – ein „Systemoptimum“ überschreitet, da mit den aktuellen Entwicklungen häufig eine ungünstige Merkmalsausprägung einhergeht für die Merkmale eFCR (bzw. LKE), N- und P-Saldo der Futtererzeugung bzw. N- und P-Footprints der Milch. Bedingt ist dies zumeist durch eine Kombination aus maximaler Einzeltierleistung und Betriebsspezialisierung. In Verbindung mit Skaleneffekten bietet das zwar betriebswirtschaftliche Vorteile und läuft auch gesetzeskonform ab, nimmt aber keine Internalisierung der externen Effekte vor – damit werden hohe Umweltkosten in der Herleitung ökonomischer Optima systematisch negiert. Im Modul 1 konnte weiterhin gezeigt werden, dass diese externen Effekte, ausgedrückt als gesellschaftliche Kosten auch für Legacy-Effekte der rezenten Umwandlung von Dauergrünland zu Acker ausgewiesen werden können. In Summe ist die

Schlussfolgerung eindeutig: Die Milcherzeugung sollte mittels politischer Intervention, die diese Umweltkosten berücksichtigt, weitgehend zurück auf das Dauergrünland verlagert werden, ebenso wie die Rindfleischerzeugung.

Im Modul 2 werden dazu konkrete Vorschläge unterbreitet und potenzielle Fördermaßnahmen skizziert, um diesem neuen Paradigma Schubkraft zu verleihen. Warum stehen nach wie vor Milch und Fleisch vom Dauergrünland im Zentrum der vorgeschlagenen Maßnahmen, nachdem doch von einer Transformation des A&E-Systems auszugehen ist und somit u. a. Naturschutz und Bioökonomie auf dem Dauergrünland der Mineralböden Potenziale entfalten sollte? Hier ist wiederum ein Blick auf andere Aktivitäten im ANK geboten, nämlich

1. auf die zu erwartende Entwicklung des Dauergrünlands auf organischen Böden (1/3 der Flächen nach InVeKoS) und
2. auf für dieses Gutachten hinzugezogene Expert:innen-Einschätzungen aus der landwirtschaftlichen Beratung in den Bundesländern zur Entwicklung der Tierzahlen im Bereich Milchkühe, Mutterkühe und Masttiere.

Werden diese beiden Aspekte zusammen berücksichtigt, dann ist zum einen klar, dass etwa 1/4 der Futtergrundlage (angenommene 80 % Wiedervernässung der organischen Böden nach Agora, 2026a) und damit auch mindestens 25 % der Rinderbestände durch die angestrebte Wiedervernässung der organischen Böden wegfallen werden. Zum anderen werden unabhängig von der erwarteten Entwicklung des Dauergrünlands auf organischen Böden Reduktionen der Milchviehbestände um mindestens 20 % durch weitere Leistungssteigerungen in den bisherigen Systemen prognostiziert, sodass damit auch die verfügbaren Masttiere in dieser Größenordnung zurückgehen. Wenn das so bis 2040/45 einträte, dann würden die Reduktionsziele zum Abbau der Rinderbestände aus Klimaschutzgründen (Methanemissionen, vgl. Grethe *et al.*, 2021; Agora, 2026a) sicher erreicht und möglicherweise überschritten. Die dann existierenden Dauergrünland-Flächen würden für „semi-intensive Grünlandmilch- und Grünlandmastsysteme“ gebraucht und wären so in der Bewirtschaftung zu optimieren, dass das gesamte Zielbündel an oben angeführten Indikatoren überzeugend erfüllt wird. Grundsätzlich ist das für die Milcherzeugung möglich, wie viele Best-Practise-Beispiele zeigen. Die Umsetzung braucht aber Zeit, zusätzliche Ideen, angewandte Forschung, und Beratung, um u. a. die Etablierung der „semi-intensiven Grünlandmilcherzeugung“ auf eine Skalenebene zu heben, die zu einem verbindlichen gesellschaftlichen Paradigma der **„INWERTSETZUNG des DAUERGRÜNLANDS für Lebensmittelerzeugung, Natur- und Klimaschutz“** entwickelt werden kann. Ein solcher Paradigmenwechsel ist in Meilensteinen anzulegen – zum einen, um Reaktanz bei den betroffenen Akteur:innen zu vermeiden, zum anderen, weil es etliche Zwischenstufen zwischen dem aktuellen, in Teilen fehlgerichteten Trend und dem Ziel für 2045 (Klimaneutralität) geben kann, die durch Innovationen entstehen, die heute noch nicht erkennbar sind. D. h. es ist ein schrittweises Vorgehen geboten, das einerseits bestrebt ist, die Akteur:innen auf allen Stufen mitzunehmen und andererseits gleichermaßen durch politische Intervention sicherstellt, dass der mögliche Beitrag in Richtung

Klimaneutralität bis 2045 geleistet werden wird. Die Erzeugung von Nahrungsmitteln in offenen landwirtschaftlichen Systemen ist kaum klimaneutral möglich (Agora, 2026b), aber die heute sichtbaren Möglichkeiten auf dem Weg dorthin sind zu nutzen, durch Forschung zu ergänzen, und dabei sind in gleicher Wertigkeit die weiteren Ziele der Nachhaltigkeitsstrategie Deutschland zu berücksichtigen.

Zentral ist es, das gesamte genannte Indikatorenset in die Umsetzung einfließen zu lassen, um so den Wert des Dauergrünlands für die Erzeugung von Nahrungsmitteln tierischer Herkunft (NTH) deutlich zu machen.

Eine Strategie der „**INWERTSETZUNG des DAUERGRÜNLANDS für Lebensmittelerzeugung, Natur- und Klimaschutz**“ hat folgende Felder zu bedienen:

1. **Information und Förderung aktivieren:** Es sollten Kampagnen zur Würdigung des WERTGRÜNLANDS über die Dokumentation von Zahlen zu gesellschaftlichen Leistungen, vermiedenen Umweltkosten etc. als Begründung für die in Modul 2 umfänglich dargelegten Fördermaßnahmen umgesetzt werden.
2. **Multifunktionale Indikatoren setzen:** Neben initialen finanziellen Förderungen zur Etablierung ist das oben genannte Indikatorenset, das den Ansätzen bei Agora (2026a) ähnlich ist, ergänzend zum derzeit in der Debatte dominierenden Product Carbon Footprint einzubringen.
3. **Milch- und Fleischindustrie und Handel einbinden:** Diese Akteur:innen sind zu motivieren, das Leitbild in monetär messbaren Ertrag für die Erzeuger zu transformieren. Der Product Carbon Footprint -Milch hat bedingt durch den Austausch mit der Wissenschaft inzwischen Eingang in die Milchindustrie gefunden. Dies ist weiterzuentwickeln für die Bereiche LKE (Würdigung Grünlandmilch ohne Flächenkonkurrenz) und für Stickstoff- und Phosphor-Footprints als Proxi auch für Biodiversität. Ebenso sind die großen Unternehmen der Fleischindustrie zu adressieren, die Weidefärsenmast als Premiummarke prominent in den Markt einzuführen und auszubauen.
4. **Ordnungsrecht stärken:** Das Beispiel Düngegesetzgebung zeigt eindrücklich, dass Ordnungsrecht wirkt. Mit der Novellierung der Düngegesetzgebung ist es gelungen, die Stickstoffüberschüsse in Deutschland innerhalb von 7 Jahren um 30 % zu reduzieren. Dieser Weg sollte um Phosphor erweitert und bei Stickstoff konsolidiert werden (vgl. Taube und Bach, 2025). Dies vermindert, zumutbar für die Akteur:innen, gesellschaftliche Kosten und stärkt auf Basis wissenschaftlicher Evidenz das neue Paradigma.
5. **Züchterisch-technischen Fortschritt fördern:** Zuchtfortschritte bei Nutztieren in den Bereichen der weltweit führenden Weidemilchnationen (Neuseeland; Irland) zu „Weidefutteraufnahmevermögen und Futterverwertungseffizienz“; Kreuzungszucht Färsenmast, Futterverwertung etc., züchterisch-technischer Fortschritt auch bei Ackerkulturen, die derzeit noch als Futterpflanzen oder Nebenprodukte in der Fütterung fungieren, aber bis 2045 komplett der menschlichen Nahrungsmittelerzeugung gewidmet werden könnten, wodurch knappe Ackerfläche ausschließlich der direkten menschlichen Ernährung zugeführt wird. Wie in Modul 1 beispielhaft angedeutet, ist

von weiteren Zuchtfortschritten bei den Ackerkulturen Raps und Mais auszugehen. So wird das Rapsextraktionsschrot als das dominierende Eiweißkonzentrat in der heutigen Milcherzeugung voraussichtlich in 20 Jahren so nicht mehr verfügbar sein, weil es bis dahin trotz bestehender technischer Schwierigkeit gelingen dürfte, neben dem Öl auch das Protein der Rapspflanze als *human edible* zu entwickeln bzw. zu extrahieren (Vahedifar and Wu, 2022; Schweiggert-Weisz et al., 2024). In die gleiche Richtung gehen die Zuchtfortschritte beim Mais: In 20 Jahren wird Körnermais überall in Deutschland als Marktfrucht für die Humanernährung ertragssicher angebaut werden können und so den Druck erhöhen, auf knappen Ackerflächen statt Silomais *Human-edible*-Körnermais anzubauen. Taube *et al.* (2025) haben diese Effekte auf einen resultierenden Landnutzungswandel hin zur Klimaneutralität für Schleswig-Holstein hergeleitet.

- 6. Genossenschaftliche Strukturen zur Nutzung des extensiven Grünlands etablieren:** Die Ausführungen haben gezeigt, dass die allein privatwirtschaftlich organisierte Bewirtschaftung von Extensiv-Grünlandflächen aufgrund geringer Wertschöpfung für die Akteur:innen und Mangel an Weidetieren an Grenzen stößt. Insbesondere bei HNV-Grünland sind Rahmenbedingungen im Sinne der Gemeinwohlorientierung deutlich stärker als bisher auszubauen und zu fördern. Im Kontext von Vertragsnaturschutz und ELER-Fördermaßnahmen sind Strukturen zu fördern, die Weidekooperationen, die Vernetzung isolierter Grünlandbiotope – im Idealfall hin zu halboffenen Weidelandschaften managen, Flächentausche organisieren und die Landeigentümer:innen in genossenschaftliche Modelle einbinden. Dies ist zu verknüpfen mit der Förderung kleiner Wiederkäuer, die für das Offenlandmanagement der HNV-Flächen unerlässlich sind sowie der entsprechenden Zuchtverbände. Dazu sind ausgebildete „Offenlandmanager:innen“ in den Zielregionen zu etablieren und mit Budget auszustatten (GAP-relevant). Die förderfähigen Zielregionen ergeben sich aus den absoluten regionalen Flächen an HNV-Grünland. Fördermodelle zwischen Land (Agrarumweltmaßnahmen) und Bund (investive Mittel, Personalmittel) sind in den Hotspots zu intensivieren – kritische Schnittstellen Bund/Land zu entflechten.

Diese 6 Punkte stellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit dar, aber vor allem diese Aspekte dürften eine Voraussetzung dafür sein, um nachhaltige Grünlandbewirtschaftung im Sinne des Natürlichen Klimaschutzes in Zukunft zu gewährleisten.

Eine große Unsicherheit bezüglich der Flächenpotenziale zur Umsetzung von Strategien im Sinne des ANK auf dem Dauergrünland der Mineralböden ergibt sich aus der nicht prognostizierbaren Geschwindigkeit der Umsetzung der Wiedervernässungsmaßnahmen hin zu Paludikulturen auf den organischen Böden. Die nordostdeutschen Bundesländer weisen 80-90 % ihrer Dauergrünland-Flächen als lokalisiert auf organischen Böden aus. Vor allem in Niedersachsen und Schleswig-Holstein sind aus den 1970er und 1980er Jahren Tiefenumbruchböden mit charakteristischen gemischten Torf-Sand-Profilen von großer Bedeutung für die Milchwirtschaft. Mit entsprechend hohen Anteilen an organischer Substanz sind diese als organische Böden klassifiziert. Die Expert:innen-Interviews waren durchweg davon geprägt, dass Diskussionsbedarf bezüglich dieser Flächen besteht, da sie

hochproduktive Ackerflächen darstellen, die mit vergleichsweise hohen Grundwasserständen bewirtschaftet werden können. Dazu wird angeregt, in solchen Fällen Lösungen zu prüfen im Sinne der zumindest temporären Integration solcher Standorte in die hier für Mineralböden vorgeschlagenen Maßnahmenprogramme – z. B. Umwandlung in Dauergrünland mit erhöhten Grundwasserständen.

Fazit: Die Zukunft des Dauergrünlands im Sinne des ANK wird geprägt sein vom gesellschaftlichen Bekenntnis zur „**INWERTSETZUNG des DAUERGRÜNLANDS für Lebensmittelherzeugung, Natur- und Klimaschutz**“. Die **INWERTSETZUNGS**-Strategie ist in Meilensteinen umzusetzen – zum einen, um Reaktanz bei den betroffenen Akteur:innen zu vermeiden, zum anderen, weil es etliche Zwischenstufen zwischen dem aktuellen, in Teilen fehl gerichteten Trend und dem Ziel für 2045 (Klimaneutralität) geben kann, die durch Innovationen entstehen, die heute noch nicht erkennbar sind. D. h. es ist ein schrittweises Vorgehen geboten, das einerseits bestrebt ist, die Akteur:innen auf allen Stufen mitzunehmen und andererseits gleichermaßen durch politische Intervention sicherstellt, dass der mögliche Beitrag in Richtung Klimaneutralität bis 2045 geleistet werden wird. Die Erzeugung von Lebensmitteln in offenen landwirtschaftlichen Systemen ist kaum klimaneutral möglich (Agora, 2026b), aber die heute sichtbaren Möglichkeiten auf dem Weg dorthin sind zu nutzen, durch Forschung zu ergänzen, und dabei sind in gleicher Wertigkeit die weiteren Ziele der Nachhaltigkeitsstrategie Deutschland zu berücksichtigen.

Danksagung

Dieses Gutachten ist in der Umsetzung von maßgeblichen Personen positiv begleitet und unterstützt worden: Ich danke den Beirätinnen und Beiräten des WBNK beim BMUKN für kritische Reflektion und Fachdiskussionen. Ich danke Frau Margret Binot-Hafke für eine exzellente administrative, fachliche und technische Unterstützung und ich danke Herrn Christof Kluß für die Zuarbeit bei Recherche, Analyse und technischer Umsetzung. Ein besonderer Dank gilt schließlich den vielen Personen aus der landwirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Beratung, die mir eine große Hilfe dabei waren, die zu erwartende Resonanz von Analysen und Vorschlägen dieses Gutachtens in der landwirtschaftlichen Praxis und im Naturschutz einzuordnen.

Literatur

- Agethen K, Deblitz C 2025. Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Mastrinder. Braunschweig: Thünen-Institut. urn:nbn:de:gbv:253-2026-000003-8
- Agora 2025. Towards food policies that support healthy and sustainable consumption. Country case studies and the role of EU food policy. www.agora-agriculture.org/publications/towards-food-policies-that-support-healthy-and-sustainable-consumption
- Agora 2026a. Die Zukunft von Landnutzung und Ernährung in Deutschland. Wie Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit in Land- und Forstwirtschaft vereinbar sind. www.agora-agrar.de/publikationen/die-zukunft-von-landnutzung-und-ernaehrung-in-deutschland
- Agora 2026b. Klimawirksamkeit der Ernährung in Deutschland. Wie sich der Beitrag der Ernährung zu den Klimazielen erfassen und politische Handlungsoptionen ableiten lassen. www.agora-agrar.de/publikationen/klimawirksamkeit-der-ernaehrung-in-deutschland-studie
- Agrarförderung Niedersachsen 2025. Erhaltung von Dauergrünland als ein Standard für den guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand von Flächen (GLÖZ). Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Antragstellung 2025. Hannover. www.agrarfoerderung-niedersachsen.de
- Agrarministerkonferenz 2026. Endgültiges Ergebnisprotokoll der Agrarministerkonferenz am 20. März 2026 in Bad Reichenhall. www.agrarministerkonferenz.de/documents/endgueltiges-ergebnisprotokoll-amk-bad-reichenhall-2026.pdf
- Alderkamp LM, Klootwijk CW, Schut AGT, van der Linden A, van Middelaar CE, Taube F 2025. Integrating crop and dairy production systems: Exploring different strategies to achieve environmental targets. *Sci Total Environ* 958, 177990. 10.1016/j.scitotenv.2024.177990
- Alrhoun M, Gaulty M, Zanon T 2025. Transitioning toward sustainable dairy systems in Europe: A systematic literature review. *J Dairy Sci* 108, 12373–12390. 10.3168/jds.2025-27018
- ANK 2023. Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. BMUV. www.bmu.de/PU715
- Bai Y, Cotrufo MF 2022. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science*, 377, 603–608. 10.1126/science.abo2380
- Bardgett RD, Bullock JM, Lavorel S, *et al.* 2021. Combatting global grassland degradation. *Nat Rev Earth Environ* 2, 720–735. 10.1038/s43017-021-00207-2
- Basset-Mens C, Ledgard S, Boyes M 2009. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecol Econ* 68, 1615–1625. 10.1016/j.ecolecon.2007.11.017
- Beye H, Taube F, Donath TW, Schulz J, Hasler M, Diekötter T 2023. Species-enriched grass-clover pastures show distinct carabid assemblages and enhance endangered species of carabid beetles compared to continuous maize. *Land* 12, 736. 10.3390/land12040736
- Beye H, Taube F, Lange K, Hasler M, Kluß C, Loges R, Diekötter T 2022. Species-Enriched Grass-Clover Mixtures Can Promote Bumblebee Abundance Compared with Intensively Managed Conventional Pastures. *Agronomy* 12. 10.3390/agronomy12051080
- BfN 2017. Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen. Schröder E, Finck P, Ackermann W (Hrsg.). Bundesamt für Naturschutz. 10.19213/973156
- BfN 2026. Weidelandchaften. Bundesamt für Naturschutz. www.bfn.de/weidelandchaften
- Bhatia R, Gallagher JA, Gomez LD, Bosch M 2017. Genetic engineering of grass cell wall polysaccharides for biorefining. *Plant Biotechnol J* 15, 1071–1092. 10.1111/pbi.12764
- Bollmann R, Schneider M, Flury C 2014. Minimalnutzungsverfahren zur Offenhaltung der Kulturlandschaft. *Agroscope Sci* 7, 59. ira.agroscope.ch/en-US/publication/34357
- Billman ED, Williamson JA, Soder KJ, Andreen DM, Skinner RH 2020. Mob and rotational grazing influence pasture biomass, nutritive value, and species composition. *Agron J* 112, 2866–2878. 10.1002/agj2.20215
- Brandt A, Hofacker C, Neumann H, Sauß M, Schwerdtfeger R 2025. Kurzauswertung Wirtschaftsergebnisse 2023/24 inkl. Biogas 2023. Landwirtschaftlicher Buchführungsverband (LBV). www.lbv-net.de/kurzauswertung

- Briemle G, Eickhoff D, Wolf R 1991. Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Grünlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht: praktische Anleitung zur Erkennung, Nutzung und Pflege von Grünlandgesellschaften. pd.lubw.de/10627
- BZL 2025. Milcherzeugung, Milchlieferung und Milchertrag in den Regionen 2024. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. <https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Milch-Milcherzeugnisse/MilchUndMilcherzeugnisse.html>
- Cederberg C, Flysjö A 2004. Life cycle inventory of 23 dairy farms in south-western Sweden. SIK-rapport 728. Göteborg: Swedish Institute for Food and Biotechnology. www.diva-portal.org/smash/get/diva2:943030/FULLTEXT01.pdf
- Chen SM, Lin S, Loges R, Reinsch T, Hasler M, Taube F 2016. Independence of seasonal patterns of root functional traits and rooting strategy of a grass-clover sward from sward age and slurry application. *Grass Forage Sci* 71, 607–621. [10.1111/gfs.12222](https://doi.org/10.1111/gfs.12222)
- Chen SM, Lin S, Reinsch T, Loges R, Hasler M, Taube F 2016. Comparison of ingrowth core and sequential soil core methods for estimating belowground net primary production in grass-clover swards. *Grass Forage Sci* 71, 515–528. [10.1111/gfs.12214](https://doi.org/10.1111/gfs.12214)
- Cichota R, Snow VO, Vogeler I 2013. Modelling nitrogen leaching from overlapping urine patches. *Environ Model Softw* 41, 15–26. [10.1016/j.envsoft.2012.10.011](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.10.011)
- Costigan H, Shalloo L, Egan M, Kennedy M, Dwan C, Walsh S, Hennessy D, Walker N, Zihlmann R, Lahart B 2024. The effect of twice daily 3-nitroxypropanol supplementation on enteric methane emissions in grazing dairy cows. *J Dairy Sci* 107. [10.3168/jds.2024-24772](https://doi.org/10.3168/jds.2024-24772)
- Creme A, Chabbi A, Gastal F, Rumpel C 2017. Biogeochemical nature of grassland soil organic matter under plant communities with two nitrogen sources. *Plant Soil* 415, 189–201. [10.1007/s11104-016-3158-9](https://doi.org/10.1007/s11104-016-3158-9)
- Danish Ministry of Agriculture 2023. Danish strategy for green proteins for animals and humans. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries of Denmark. ISBN: 978-87-88363-34-0 https://fvm.dk/Media/638524902251150869/Strategy_green_Proteins_2024.pdf
- DAFA 2015. Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Forschungsstrategie des DAFA-Fachforums Grünland. Braunschweig: Thünen-Institut. www.dafa.de/wp-content/uploads/FF_Gruenland.pdf
- DBV 2025. Situationsbericht 2025/26: Trends und Fakten zur Landwirtschaft. Deutscher Bauernverband. www.situationsbericht.de/inhalt
- De Los Rios J, Poyda A, Taube F, Kluß C, Loges R, Reinsch T 2022. No-Till Mitigates SOC Losses after Grassland Renovation and Conversion to Silage Maize. *Agriculture* 12, 1204. [10.3390/agriculture12081204](https://doi.org/10.3390/agriculture12081204)
- Dentler J, Kiefer L, Hummler T, Bahrs E, Elsaesser M 2020. The impact of low-input grass-based and high-input confinement-based dairy systems on food production, environmental protection and resource use. *Agroecol Sustain Food Syst* 44, 1089–1110. [10.1080/21683565.2020.1712572](https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1712572)
- Destatis 1993. Sonderreihe mit Beiträgen für das Gebiet der ehemaligen DDR. Heft 8: Ausgewählte Zahlen zur Agrarwirtschaft 1949 bis 1989. www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEMonografie_derivate_00000965/Heft_8.pdf
- Destatis 2025. Landwirtschaftliche Bodennutzung nach ausgewählten Hauptnutzungsarten. Stand 01.08.2025. Statistisches Bundesamt.
- Destatis 2025. Landwirtschaftliche Betriebe – Eigentums- und Pachtverhältnisse. Berichtszeitraum 2023. Agrarstrukturerhebung (EVAS 41121). Statistisches Bundesamt.
- Destatis 2025. Dauergrünland. Destatis Glossar (Statistische Definition). Statistisches Bundesamt. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Glossar/dauergruenland.html>
- Destatis 2025. Zeitreihe zum Viehbestand in Deutschland von 2000 bis 2024. Kapitel C im Statistischen Jahrbuch, Tabelle 80. Viehbestand. Statistisches Bundesamt. Daten abrufbar über GENESIS. <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/3100200-0000.xlsx>
- DGE 2021. DGE-Positionspapier zur nachhaltigeren Ernährung. *Ernährungs Umschau* 68, 144–154. [10.4455/eu.2021.030](https://doi.org/10.4455/eu.2021.030)

- DGE 2024. Neubewertung der DGE-Position zu veganer Ernährung. Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Ernährung. Ernährungs Umschau 71, 60–84. 10.4455/eu.2024.22
- DGE 2024. Gut essen und trinken – die DGE-Empfehlungen. Deutsche Gesellschaft für Ernährung. www.dge.de/gesunde-ernaehrung/gut-essen-und-trinken/dge-empfehlungen/
- DLG 2014. Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. DLG-Verlag. Arbeiten der DLG, Bd. 199.
- DLG 2020. Berücksichtigung N- und P-reduzierter Fütterungsverfahren bei den Nährstoffausscheidungen von Milchkühen. Merkblatt 444. DLG-Verlag. http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_444.pdf
- DLG 2023. Rationsoptimierung und Fütterungskontrolle bei Milchkühen. DLG-Information 01/2023. DLG. www.dlg.org/landwirtschaft/tierhaltung/futtermittelnet/fachinfos-rinder
- DLG 2025. Stehen leistungsstarke Kühe und ein geringer CO₂-Ausstoß im Widerspruch? DLG. www.dlg.org/magazin/nachhaltige-produktivitaetssteigerung-stehen-leistungsstarke-kuehe-und-ein-geringer-co2-ausstoss-im-widerspruch
- Dorfner G, Härle C 2008. Viele Wege führen zum Ziel – Erfolgsstrategien für Milchviehalter. Bayerisches Ldw. Wochenblatt 44. www.lfl.bayern.de/iba/tier/029360/
- Duden C, Böhner H, Kuhnert H, Lampkin N, Offermann F, Röder N, Tegetmeyer I 2025. Beiträge zur Evaluierung der Öko-Regelungen nach GAP-Direktzahlungen-Gesetz (GAPDZG). Braunschweig: Thünen-Institut. 10.3220/WP1736334766000
- DüV 2020. Düngeverordnung 2020. www.ble-medien-service.de/1756
- EEG 2009. Erneuerbare-Energien-Gesetz in der Fassung vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 25. Mai 2009 (BGBl. I S. 562), § 27 Abs. 4 Nr. 2 i. V. m. Anlage 2. www.clearingstelle-ee-g-kwkg.de/sites/default/files/EEG_2009_juris_Stand_110501.pdf
- Ellis PW, Page AM, Wood S, Fargione J, Masuda YJ, Carrasco Denney V, Moore C, Kroeger T, Griscom B, Sanderman J, Atleo T, Cortez R, Leavitt S, Cook-Patton SC 2024. The principles of natural climate solutions. *Nat Commun* 15, 547. 10.1038/s41467-023-44425-2
- Ellmauer T 1996. Die Bedeutung von Wiesengesellschaften für Biodiversität und Naturschutz in Österreich. *Verh Zool-Bot Ges Österreich* 133, 277–299. www.zobodat.at/pdf/VZBG_133_0277-0299.pdf
- Elshani N, Steinshamn H, Adler S, Nilsson J, Tidåker P 2025. Climate impact and land use of processing grass-clover biomass cultivated under different nitrogen fertilization rates in green biorefinery. *Sci Total Environ* 999, 180373. 10.1016/j.scitotenv.2025.180373
- Emde D, Sakhaee A, Poeplau C, Don A, Scherstjanoi M, Wellbrock N, Schneider F 2025. Site-Specific Drivers of Land-Use Change Effects on Organic Carbon in German Agriculture and Forest Soils. *Glob Change Biol* 31. 10.1111/gcb.70576
- Eriksen J, Jensen JL, Larsen SU, Thers H, Vogeler I 2026. Cover crops and optimal N management reduce nitrate leaching to background levels in grass-clover—Barley rotations on sandy soil. *Nutr Cycl Agroecosyst* 132, 32–44. 10.1007/s10705-026-10479-z
- Ertl P, Klocker H, Hörtenhuber S, Knaus W, Zollitsch W 2015. The net contribution of dairy production to human food supply: The case of Austrian dairy farms. *Agric Syst* 137, 119–125. 10.1016/j.agsy.2015.04.004
- Ertl P, Steinwider A, Schönauer M, Krimberger K, Knaus W, Zollitsch W 2016. Net food production of different livestock: A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories / Netto-Lebensmittelproduktion der Nutztierhaltung: Eine nationale Analyse für Österreich inklusive relativer Flächenbeanspruchung. *J Land Manag Food Environ* 67, 91–103. 10.1515/boku-2016-0009
- European Commission 2025. Common Agricultural Policy simplification package. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- FAO 2018. *Agricultural Outlook 2018–2027*. Paris. 10.1787/agr_outlook-2018-en
- FAO 2022. FAOSTAT Land Use database. www.fao.org/faostat/en/#data/RL
- FAO 2025. *The State of Food and Agriculture 2025 – Addressing land degradation across landholding scales*. Rome. 10.4060/cd7067en

- Flachowsky G, Meyer U, Südekum KH 2018. Invited review: Resource inputs and land, water and carbon footprints from the production of edible protein of animal origin. *Arch Anim Breed* 61, 17–36. 10.5194/aab-61-17-2018
- Flachowsky G, Meyer U 2008. CO₂-Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft-Gegenwärtiger Stand und offene Fragen. In: *Proceedings der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Halle (Saale)*, 31–36. www.openagrar.de/receive/fimport_mods_00001627
- Feigenwinter I, Hörtnagl L, Buchmann N 2023. N₂O and CH₄ fluxes from intensively managed grassland: The importance of biological and environmental drivers vs. management. *Sci Total Environ* 903, 166389. 10.1016/j.scitotenv.2023.166389
- Finck P, Ssymank A, Heinze S, Raths U, Riecken U 2017. Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands: dritte fortgeschriebene Fassung 2017, Naturschutz und Biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg. 10.19213/973156
- Finn JA, Suter M, Vishwakarma R, Oram NJ, Lüscher A, Brophy C 2024. Design principles for multi-species productive grasslands: Quantifying effects of diversity beyond richness. *J Ecol* 112, 2471–2479. 10.1111/1365-2745.14314
- FNR 2025. Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Statistikbericht 2025. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. www.fnr.de/fileadmin/Statistik/Statistikbericht_der_FNR_2025_web.pdf
- Franz-Wipperfurth R, Knierim U 2021. Status Quo der Kälberhaltung in Deutschland und Ausmaß möglicher Tierschutzprobleme – eine Literaturliteraturauswertung. Kassel: Universität Kassel.
- French KE 2019. Assessing the bioenergy potential of grassland biomass from conservation areas in England. *Land Use Policy* 82, 700–708. 10.1016/j.landusepol.2018.12.001
- Frickh J, Steinwidder A, Baumung R 2002. Einfluss von Rationsgestaltung, Geschlecht und Mastendmasse auf die Schlachtleistung von Fleckvieh-Tieren. *Züchtungskunde* 74, 363–375.
- GAP 2013. Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 zur Festlegung von Vorschriften für Direktzahlungen an Landwirte im Rahmen von Stützungsprogrammen der Gemeinsamen Agrarpolitik und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 637/2008 des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates (ABl. L 347 vom 20.12.2013, S. 608). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/1307/oj>
- GAPDZV 2022. Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAP-Direktzahlungen-Verordnung – GAPDZV), § 7 Dauergrünland. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft www.gesetze-im-internet.de/gapdzv/_7.html
- GAPKondG 2021. Gesetz zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Gesetz – GAPKondG). Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. www.gesetze-im-internet.de/gapkondg/
- GAPKondV 2022. Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung – GAPKondV). Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. www.gesetze-im-internet.de/gapkondv/
- Garnett T, Godfray C 2012. Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities, Food Climate Research Network and the Oxford Martin Programme on the Future of Food, University of Oxford, UK. www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/reports/201207SustainableFoodReport.pdf
- Gauly M, Bollwein H, Breves G, Brügemann K, Dänicke S, Das G, Demeler J, Hansen H, Isselstein J, König S, Lohölter M, Martinsohn M, Meyer U, Potthoff M, Sanker C, Schröder B, Wrage N, Meibaum B, von Samson-Himmelstjerna G, Stinshoff H, Wrenzycki C 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review. *Animal* 7:5, pp 843–859. 10.1017/S1751731112002352
- Gerber P, Vellinga T, Opio C, Steinfeld H 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Sci* 139, 100–108. 10.1016/j.livsci.2011.03.012
- Gregersen Echers S, Abdul-Khalek N, Jensen NH, Jørgensen AK, Mattsson T, Jørgensen MK, Lübeck, PS, Lübeck M 2026. Selective removal of green pigments and associated proteins from clover-grass protein concentrates: Molecular insights into a non-destructive, two-stage

- membrane-based biorefinery concept for high-quality food protein production. *Sustain Food Technol* 4, 1689–1713. 10.1039/D5FB00771B
- González-Recio O, López-Paredes J, Ouatahar L, Charfeddine N, Ugarte E, Alenda R, Jiménez-Montero JA 2020. Mitigation of greenhouse gases in dairy cattle via genetic selection: 2. Incorporating methane emissions into the breeding goal. *J Dairy Sci* 103, 7210–7221. 10.3168/jds.2019-17598
- Grethe H, Martinez J, Osterburg B, Taube F, Thom F 2021. Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands. Gutachten im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität. www.stiftung-klima.de/de/artikel/klimawende-in-der-landwirtschaft
- Guillaume T, Makowski D, Libohova Z, Bragazza L, Sallaku F, Sinaj S 2022. Soil organic carbon saturation in cropland-grassland systems: Storage potential and soil quality. *Geoderma* 406, 115529. 10.1016/j.geoderma.2021.115529
- Hamidi D, Baumann K, Kayser M, von Witzke H, Isselstein J 2024. Agronomische und ökologische Potenziale von Photovoltaikanlagen auf Grünland. *Berichte über Landwirtschaft* 102. 10.12767/BUEL.V102I2.514
- Han J, Schlingmann M, Gasche R, Garcia-Franco N, Wiesmeier M, Kiese R, Ostler U, Rennenberg H, Dannenmann M 2025. High importance of organic fertilizer nitrogen applied to temperate grassland for plant nitrogen uptake in the years following fertilization. *Agric Ecosyst Environ* 389, 109653. 10.1016/j.agee.2025.109653
- Harms J 2024. Ökonomische und klimarelevante Betrachtungen differenzierter Verfahren der Milch- und Rindfleischerzeugung. Gülzow-Prüzen. www.landwirtschaft-mv.de/serviceassistent/download?id=1665532
- Hassink J 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil* 191, 77–87. 10.1023/A:1004213929699
- Hochberg H 2022. Wie weiter mit den Wiesen und Weiden? *BauernZeitung* 9, 8-9.
- Høgh-Jensen H, Loges R, Jørgensen FV, Vinther FP, Jensen ES 2004. An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. *Agric Syst* 82, 181–194. 10.1016/j.agsy.003.12.003
- Hoogstra AG, Silvius J, De Olde EM, Candel JJJ, Termeer CJAM, van Ittersum MK, de Boer IJM 2024. The transformative potential of circular agriculture initiatives in the North of the Netherlands. *Agric Syst* 214. 10.1016/j.agsy.2023.103833
- Holtgrave AK, Lobert F, Erasmi S, Röder N, Kleinschmit B 2023. Grassland mowing event detection using combined optical, SAR, and weather time series. *Remote Sens Environ* 295, 113680. 10.1016/j.rse.2023.113680
- Hünig C, Benzler A 2017. Das Monitoring der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert in Deutschland. Bundesamt für Naturschutz. *BfN-Skripten* 476. 10.19217/SKR476
- Ineichen SM, Zumwald J, Reidy B, Nemecek T 2023. Feed-food and land use competition of lowland and mountain dairy cow farms. *Animal* 17, 101028. 10.1016/j.animal.2023.101028
- Isselstein J, Jeangros B, Pavlu V 2005. Agronomic aspects of biodiversity targeted management of temperate grasslands in Europe. *Agron Res* 3, agronomy.emu.ee/vol032/p3202.pdf
- Jayaneththi U, Jeyakumar P, Sneddon NW, Burkitt LL, Anderson CWN, Fermin LM, Donaghy DJ 2026. Soil and ruminant gut microbiomes in diverse pasture systems and regenerative agriculture: A review. *Biol Fertil Soils*, 1–15. 10.1007/s00374-026-01981-1
- Johansen K, Vestergaard M, Spleth P, Hein L, Nielsen HM, Kargo M 2024. Growth and feed efficiency of Nordic Red dairy cattle, Holstein, and their F1 crossbreeds when limiting feed energy concentration in prepubertal heifers. *J Dairy Sci* 107. 10.3168/jds.2024-24904
- Jordon MW, Buffet JC, Dungait JAJ, Galdos MV, Garnett T, Lee MRF, Lynch J, Rööß E, Searchinger TD, Smith P, Godfray HCJ 2024. A restatement of the natural science evidence base concerning grassland management, grazing livestock and soil carbon storage. *Proc R Soc B* 291, 20232669. 10.1098/rspb.2023.2669
- Jørgensen U, Jensen SK, Ambye-Jensen M 2022. Coupling the benefits of grassland crops and green biorefining to produce protein, materials and services for the green transition. *Grass Forage Sci* 77, 295–306. 10.1111/gfs.12594

- Kan S, Levy SA, Mazur E, Samberg L, Persson UM, Sloat L, Segovia ALR, Parente L, Kastner T 2026. Overlooked and overexploited: Extensive conversion of grasslands and wetlands driven by global food, feed, and bioenergy demand. *Proc Natl Acad Sci*. 10.1073/pnas.2521183123
- Kiefer A, Elsässer M, Grant K, Lindner R, Trček U, Risius A, Schulze M, Spiller A, Dentler J, Wacker K, Sponagel C, Weber J, Bahrs E 2020. Grünlandschutz in benachteiligten Mittelgebirgsregionen durch ein Bio-Weiderindkonzept am Beispiel des Südschwarzwalds. *Berichte über Landwirtschaft* 98. 10.12767/BUEL.V98I3.311
- Klages S, Osterburg B, Hansen H 2017. Betriebliche Stoffstrombilanzen für Stickstoff und Phosphor - Berechnung und Bewertung. Dokumentation der Ergebnisse der Bund-Länder-Arbeitsgruppe "Betriebliche Stoffstrombilanzen" und der Begleitenden Analysen des Thünen-Instituts. www.thuenen.de/media/institute/lv/Startseite_Aktuelles/Neues_Duengerecht_Ergebnisbericht_BMEL-AG_Betriebliche_Stoffstrombilanzen.pdf
- Klapp E 1971. *Wiesen und Weiden: eine Grünlandlehre*. 4. Auflage. Berlin.
- Klimek S, Richter gen. Kemmermann A, Hofmann M, Isselstein J 2007. Plant species richness and composition in managed grasslands: The relative importance of field management and environmental factors. *Biol Conserv* 134, 559–570. 10.1016/j.biocon.2006.09.007
- Köhler B, Diepolder M, Ostertag J, Thurner S, Spiekers H 2013. Dry matter losses of grass, lucerne and maize silages in bunker silos. *Agric Food Sci* 22, 145–150. 10.23986/afsci.6715
- Köhler B, Spiekers H, Kluß C, Taube F 2017. Leistungen vom Grünland im Futterbaubetrieb - Analyse auf Betriebsebene unter bayerischen Standortbedingungen. *Berichte über Landwirtschaft* 95. 10.12767/buel.v95i1.138.g314
- Komainda M, Taube F, Kluß C, Herrmann A 2018. Effects of catch crops on silage maize (*Zea mays* L.): yield, nitrogen uptake efficiency and losses. *Nutr Cycl Agroecosyst* 110, 51–69. 10.1007/s10705-017-9839-9
- Komainda M, Taube F, Kluß C, Herrmann A 2016. Above- and belowground nitrogen uptake of winter catch crops sown after silage maize as affected by sowing date. *Eur J Agron* 79, 31–42. 10.1016/j.eja.2016.05.007
- Kuhla B, Schilde M, Dänicke S, Kreuzer M 2024. Methanproduktion und Fütterung: Potenzial verschiedener Maßnahmen unterschiedlich groß. *Feed magazine*, 15–20. www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00105063
- Landwirtschaftskammer NRW 2025. Situationsbericht zur Mutterkuhhaltung in Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Fachbereich 71 – Tierhaltung und Tierzuchtrecht. www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/rinderhaltung/pdf/situationsbericht-mutterkuhhaltung.pdf
- Leuschner C, Lott S, Schmitz A, Wellinghoff J, Komainda M, Isselstein J 2024. Plant species richness in intensively managed temperate wet grasslands: current state and the importance of edge habitats. *Biodivers Conserv* 33, 3275–3294. 10.1007/s10531-024-02912-y
- LfL 2024. Milchreport Bayern. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/milchreport_bayern_2024_lfl_information.pdf
- Li C, Kotz M, Pradhan P, Wu X, Hu Y, Li Z, Chen G 2026. Climate change drives a decline in global grazing systems. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 123. 10.1073/pnas.2534015123
- Lobert F, Holtgrave AK, Schwieder M, Pause M, Vogt J, Gocht A, Erasmi S 2021. Mowing event detection in permanent grasslands: Systematic evaluation of input features from Sentinel-1, Sentinel-2, and Landsat 8 time series. *Remote Sens Environ* 267, 112751. 10.1016/j.rse.2021.112751
- Lockwood T, Elias JL, Stone M, Kemp HR, Spiers M, Davess B, Iazard N, Mason E, Hartill J, Morecroft MD 2026. Semi-natural grasslands as a nature-based solution for climate change mitigation: An assessment of carbon and plant communities across age gradients. *Agric Ecosyst Environ* 395, 109887. 10.1016/j.agee.2025.109887
- Loges R, Bunne I, Reinsch T, Malisch C, Kluß C, Herrmann A, Taube F 2018. Forage production in rotational systems generates similar yields compared to maize monocultures but improves soil carbon stocks. *Eur J Agron* 97, 11–19. 10.1016/j.eja.2018.04.010

- Loges R, Vogeler I, Kluß C, Hasler M, Taube 2024. Renovation of grasslands with grass and white clover – Effects on yield and carbon sequestration. *Soil Till Res*, 240. 10.1016/j.still.2024.106076
- Lorenz H, Reinsch T, Hess S, Taube F 2019. Is low-input dairy farming more climate friendly? A meta-analysis of the carbon footprints of different production systems. *J Clean Prod* 211, 161–170. 10.1016/j.jclepro.2018.11.113
- Loza C, Verma S, Wolfram S, Susenbeth A, Blank R, Taube F, Loges R, Hasler M, Kluß C, Malisch CS 2021a. Assessing the Potential of Diverse Forage Mixtures to Reduce Enteric Methane Emissions In Vitro. *Animals* 11, 1126. 10.3390/ani11041126
- Loza C, Reinsch T, Loges R, Taube F, Gere JI, Kluß C, Hasler M, Malisch CS 2021b. Methane Emission and Milk Production from Jersey Cows Grazing Perennial Ryegrass–White Clover and Multispecies Forage Mixtures. *Agriculture* 11, 175. 10.3390/agriculture11020175
- LKSH 2025. Rinder-Report. Ergebnisse der Vollkostenauswertung der Rinderspezialberatungsringe in Schleswig-Holstein 2023/24. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.
- Maire V, Gross N, Börger L, Proulx R, Wirth C, Pontes LDS, Soussana J, Louault F 2012. Habitat filtering and niche differentiation jointly explain species relative abundance within grassland communities along fertility and disturbance gradients. *New Phytol* 196, 497–509. 10.1111/j.1469-8137.2012.04287.x
- Mattsson T, Jørgensen AK, Gregersen S, Abdul-Khalek N, Lübeck PS, Lübeck M, Jørgensen MK 2026. Membrane selectivity during the production of food and feed proteins from clover grass juice. SSRN. 10.2139/ssrn.6140049
- McAllister TA, Becquet P, Amon BR, LEAP TAG, Lee MRF 2025. Role of livestock in circular bioeconomy systems. *Anim Front* 15, 7–15. 10.1093/af/vfaf022
- Molkentin J 2025. Deklarationskontrolle bei Weidemilch. Max Rubner-Institut. Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. www.mri.bund.de/de/institute/nrz-authent/forschungsprojekte/deklarationskontrolle-weidemilch/
- NABU 2025. Halboffene Weidelandschaft Landschaftsgestaltung mit großen Pflanzenfressern. rlp.nabu.de/natur-und-landschaft/beweidungsprojekte/
- Nannen DU, Herrmann A, Loges R, Dittert K, Taube F 2011. Recovery of mineral fertiliser N and slurry N in continuous silage maize using the ¹⁵N and difference methods. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89, 269–280. 10.1007/s10705-010-9392-2
- Niedersächsischer Landtag 2019. Was tut die Landesregierung gegen den „Flächenfraß“ und für den Erhalt von Grünlandflächen? Antwort des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz namens der Landesregierung vom 21.02.2019, Drucksache 18/3006. www.landtag-niedersachsen.de/drucksachen/drucksachen_18_05000/03001-03500/18-03006.pdf
- Nüsse A, Linsler D, Loges R, Reinsch T, Taube F, Ludwig B 2018. Effect of grassland harvesting frequency and N-fertilization on stocks and dynamics of soil organic matter in the temperate climate. *Arch Agron Soil Sci* 64, 1925–1931. 10.1080/03650340.2018.1468561
- Nyameasem JK, Malisch CS, Loges R, Taube F, Kluß C, Vogeler I, Reinsch T 2021. Nitrous Oxide Emission from Grazing Is Low across a Gradient of Plant Functional Diversity and Soil Conditions. *Atmosphere* 12, 223. 10.3390/atmos12020223
- Nyameasem JK, Ruser R, Kluß C, Essich C, Zutz M, Ten Huf M, Buchen-Tschiskale C, Flessa H, Olf H, Taube F, Reinsch T 2023. Effect of slurry application techniques on nitrous oxide emission from temperate grassland under varying soil and climatic conditions. *Grass Forage Sci* 78, 338–358. 10.1111/gfs.12612
- Nyameasem JK, Taube F, Kluß C, Neumann S, Reinsch T 2024. The effects of fertilizer pretreatment on nitrogen cycling in an intensively managed temperate grassland. *Agric Ecosyst Environ* 375. 10.1016/j.agee.2024.109185
- O'Malley J, Finn JA, Malisch CS, Suter M, Meyer ST, Peratoner G, Thivierge MN, Abalos D, Adler PR, Bezemer TM, Black AD, Ergon Å, Golińska B, Grange G, Hakl J, Hoekstra NJ, Huguenin-Elie O, Jing J, Jungers JM, Lajeunesse J, Loges R, Louarn G, Lüscher A, Moloney T, Reynolds CK, Sturite I, Khan AS, Vishwakarma R, Zhu F, Brophy C 2026. Multispecies grasslands produce

- more yield from lower nitrogen inputs across a climatic gradient. *Science* 391, 179–183. 10.1126/science.ady0764
- Ombabi A, Südekum KH, Taube F 2001. Untersuchungen am Primäraufwuchs zweier Weidelgräser zur Dynamik der Veränderungen in der Verdaulichkeit und der Futteraufnahme durch Schafe. *J Anim Physiol Anim Nutr* 85, 385–405. 10.1046/j.1439-0396.2001.00354.x
- Osterburg B, Ackermann A, Böhm J, Bösch M, Dauber J, de Witte T, Elsasser P, Erasmí S, Gocht A, Hansen H, Heidecke C, Klimek S, Krämer C, Kuhnert H, Moldovan A, Nieberg H, Pahmeyer C, Plaas E, Rock J, Röder N, Söder M, Tetteh G, Tiemeyer B, Tietz A, Wegmann J, Zinnbauer M 2023. Flächennutzung und Flächennutzungsansprüche in Deutschland. Braunschweig: Thünen-Institut. 10.3220/WP1697436258000
- Peracchi LM, Panahabadi R, Barros-Rios J, Bartley LE, Sanguinet KA 2024. Grass lignin: biosynthesis, biological roles, and industrial applications. *Front Plant Sci* 15. 10.3389/fpls.2024.1343097
- Peters T, Taube F, Kluß C, Reinsch T, Loges R, Fenger F 2021. How Does Nitrogen Application Rate Affect Plant Functional Traits and Crop Growth Rate of Perennial Ryegrass-Dominated Permanent Pastures? *Agronomy* 11, 2499. 10.3390/agronomy11122499
- Poeplau C, Don A, Vesterdal L, Leifeld J, Van Wesemael B, Schumacher J, Gensior A 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. *Glob Change Biol* 17, 2415–2427. 10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x
- Poeplau C, Harbo LS, Schneider F, Schiedung M, Don A, Heilek S, Dechow R, Vasylyeva E, Heidkamp A, Prietz R, Flessa H 2025. Zwischenbericht der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft Wiederholungsinventur. Braunschweig: Thünen-Institut. 10.3220/253-2025-234
- Poore J, Nemecek T 2018. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992. 10.1126/science.aaq0216
- Poulton P, Johnston J, Macdonald A, White R, Powlson D 2018. Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Glob Change Biol* 24, 2563–2584. 10.1111/gcb.14066
- Poyda A, Reinsch T, Kluß C, Loges R, Taube F 2016. Greenhouse gas emissions from fen soils used for forage production in northern Germany. *Biogeosciences* 13, 5221–5244. 10.5194/bg-13-5221-2016
- Poyda A, Reinsch T, Struck IJ, Skinner RH, Kluß C, Taube F 2021. Low assimilate partitioning to root biomass is associated with carbon losses at an intensively managed temperate grassland. *Plant Soil* 460, 31–50. 10.1007/s11104-020-04771-2
- Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE* 8, e66428. 10.1371/journal.pone.0066428
- Reinermann S, Gessner U, Asam S, Ullmann T, Schucknecht A, Kuenzer C 2022. Detection of Grassland Mowing Events for Germany by Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series. *Remote Sens* 14, 1647. 10.3390/rs14071647
- Reinsch T, Loges R, Kluß C, Taube F 2018a. Effect of grassland ploughing and reseeded on CO₂ emissions and soil carbon stocks. *Agric Ecosyst Environ* 265, 374–383. 10.1016/j.agee.2018.06.020
- Reinsch T, Loges R, Kluß C, Taube F 2018b. Renovation and conversion of permanent grass-clover swards to pasture or crops: effects on annual N₂O emissions in the year after ploughing. *Soil Tillage Res* 175, 119–129. 10.1016/j.still.2017.08.009
- Reinsch T, Loza C, Malisch CS, Vogeler I, Kluß C, Loges R, Taube F 2021. Toward specialized or integrated systems in northwest Europe: on-farm eco-efficiency of dairy farming in Germany. *Front Sustain Food Syst* 5, 614348. 10.3389/fsufs.2021.614348
- Reiter K, Röder N, Peitz C 2024. Die Umsetzung der Grünen Architektur der Gemeinsamen Agrarpolitik in Deutschland: Bessere Förderbedingungen für die Biodiversität in der Agrarlandschaft? *Naturschutz und Landschaftsplanung* 55, 26–37. 10.1399/NuL.2024.01.02

- 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? *Plant Soil* 460, 417–433. 10.1007/s11104-020-04806-8
- Roberts AJ, Johnson NC 2021. Effects of Mob-Grazing on Soil and Range Quality Vary with Plant Species and Season in a Semiarid Grassland. *Rangel Ecol Manag* 79, 139–149. 10.1016/j.rama.2021.04.008
- Röder N, Ackermann A, Baum S, Böhner HGS, Laggner B, Lakner S, Ledermüller S, Wegmann J, Zinnbauer M, Strassemeyer J, Pöllinger F 2022. Evaluierung der GAP-Reform von 2013 aus Sicht des Umweltschutzes anhand einer Datenbankanalyse von InVeKoS-Daten der Bundesländer. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte UBA 75/2022. Dessau-Roßlau. www.uba.de/n96050de
- Röös E, Bajželj B, Smith P, Patel M, Little D, Garnett T 2017. Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Glob Environ Change* 47, 1–12. 10.1016/j.gloenvcha.2017.09.001
- Roscher C, Temperton VM, Scherer-Lorenzen M, Schmitz M, Schumacher J, Schmid B, Buchmann N, Weisser WW, Schulze ED 2005. Overyielding in experimental grassland communities – irrespective of species pool or spatial scale. *Ecology Letters* 8, 419–429. 10.1111/j.1461-0248.2005.00736.x
- Roy A, Moradkhani H, Mekonnen M, Moftakhari H, Magliocca N 2024. Towards strategic interventions for global food security in 2050. *Sci Total Environ* 954. 10.1016/j.scitotenv.2024.176811
- Rudman R 2025. EU ETS carbon allowance price forecasts 2025-2030: What European businesses must know for effective hedging and compliance [Blog post, 21 Juli]. AFS Energy. www.afsenergy.nl/blog-post/eu-ets-carbon-allowance-price-forecasts-2025-2030-what-european-businesses-must-know-for-effective-hedging-and-compliance
- Rupp H, Meissner R, Leinweber P 2018. Plant available phosphorus in soil as predictor for the leaching potential: Insights from long-term lysimeter studies. *Ambio* 47, 103–113. 10.1007/s13280-017-0975-x
- Salama H, Lösche M, Herrmann A, Taube F, Gierus M 2017. A simplified maturity index to quantify the development stage of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and its relationship with yield and nutritive value. *J Land Manage Food Environ* 68. 10.1515/boku-2017-0009
- Salama H, Lösche M, Herrmann A, Gierus M, Loges R, Feuerstein U, Ingwersen B, Stelling D, Luesink W, Taube F 2012. Limited genotype- and ploidy-related variation in the nutritive value of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Acta Agric Scand Sect B Soil Plant Sci* 62, 23–34. 10.1080/09064710.2011.563750
- Sanderson MA 2010. Stability of production and plant species diversity in managed grasslands: A retrospective study. *Basic Appl Ecol* 11, 216–224. 10.1016/j.baae.2009.08.002
- Sandström V, Chrysafi A, Lamminen M, Troell M, Jalava M, Piipponen J, Siebert S, Van Hal O, Virkki V, Kummu M 2022. Food system by-products upcycled in livestock and aquaculture feeds can increase global food supply. *Nat Food* 3, 729–740. 10.1038/s43016-022-00589-6
- Schils RLM, Aarts HFM, Bussink DW, Conijn JG, Corre VJ, van Dam AM, Hoving IE, van der Meer HG, Velthof GL 2007. Grassland renovation in the Netherlands; agronomic, environmental and economic issues. In: Conijn JG, Velthof GL, Taube F (Eds.), *Grassland resowing and grass-arable crops rotations*. Report PRI 47, 9–24. edepot.wur.nl/39748
- Schils RLM, Bufe C, Rhymer CM, Francksen RM, Klaus VH, Abdalla M, Milazzo F, Lellei-Kovács E, Berge HT, Bertora C, Chodkiewicz A, Dămătîrcă C, Feigenwinter I, Fernández-Rebollo P, Ghiasi S, Hejduk S, Hiron M, Janicka M, Pellaton R, ... Price JPN 2022. Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. *Agric Ecosyst Environ* 330. 10.1016/j.agee.2022.107891
- Schmeer M, Loges R, Dittert K, Senbayram M, Horn R, Taube F 2014. Legume-based forage production systems reduce nitrous oxide emissions. *Soil Tillage Res* 143, 17–25. 10.1016/j.still.2014.05.001

- Schmera D, Boschi C, Baur B 2023. The type of forest edge shapes snail assemblages at forest-pasture transitions. *Sci Rep* 13. 10.1038/s41598-023-43758-8
- Schmitz A, Isselstein J 2018. Wieviel Grünland wird in Deutschland für Pferde genutzt? Versuch einer Quantifizierung anhand von Bestands- und Praxisdaten. *Berichte über Landwirtschaft* 96. 10.12767/BUEL.V96I1.186.G379
- Schoumans OF, Breeuwsma A 1997. The relation between accumulation and leaching of phosphorus: laboratory, field and modelling results. In: Tunney H, Carton OT, Brookes PC, Johnston AE (Eds.), *Phosphorus Loss from Soil to Water*. CABI, United Kingdom, 361–363.
- Schoof N, Luick R, Ackermann A, Baum S, Böhner H, Röder N, Rudolph S, Schmidt T, Hötter H, Jeromin H 2019a. Auswirkungen der neuen Rahmenbedingungen der Gemeinsamen Agrarpolitik auf die Grünland-bezogene Biodiversität. Bundesamt für Naturschutz. BfN-Skripten 540. 10.19217/SKR540
- Schoof N, Luick R, Beaufoy G, Jones G, Einarsson P, Ruiz J, Stefanova V, Fuchs D, Windmaißer T, Hötter H, Jeromin H, Nickel H, Schumacher J, Ukhanova M 2019b. Grünlandschutz in Deutschland: Treiber der Biodiversität, Einfluss von Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen, Ordnungsrecht, Molkereiwirtschaft und Auswirkungen der Klima- und Energiepolitik. Bundesamt für Naturschutz. BfN-Skripten 539. 10.19217/SKR539
- Schramek J, Osterburg B, Kasperczyk N, Nitsch H, Wolff A, Weis M, Hülemeyer K 2012. Vorschläge zur Ausgestaltung von Instrumenten für einen effektiven Schutz von Dauergrünland. Bundesamt für Naturschutz. BfN-Skripten 323. urn:nbn:de:hbz:b219-4812
- Schweiggert-Weisz U, Eitzbach L, Gola S, Kulling SE, Diekmann C, Egert S, & Daniel H 2024. Opinion Piece: New Plant-Based Food Products Between Technology and Physiology. *Molecular Nutrition and Food Research*, 68(20), 400376. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202400376>
- Schwieder M, Wesemeyer M, Frantz D, Pfoch K, Erasmi S, Pickert J, Nendel C, Hostert P 2022. Mapping grassland mowing events across Germany based on combined Sentinel-2 and Landsat 8 time series. *Remote Sens Environ* 269, 112795. 10.1016/j.rse.2021.112795
- Searchinger T, Zions J, Wirsenius S, Peng L, Beringer T, Dumas P 2021. A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark. World Resources Institute. 10.46830/wrirpt.20.00006
- Sieve F, Wilken F, Isselstein J, Kayser M 2023. Dreijährige Stoffstrombilanzierung auf Milchviehbetrieben in Nordwest-Niedersachsen unter Anwendung der Novellierungsvorschläge aus dem Evaluierungsbericht der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV). *Berichte über Landwirtschaft* 101. 10.12767/BUEL.V101I2.477
- Simon WJ, Hijbeek R, Frehner A, Cardinaals R, Talsma EF, Van Zanten HHE 2024. Circular food system approaches can support current European protein intake levels while reducing land use and greenhouse gas emissions. *Nat Food* 5, 402–412. 10.1038/s43016-024-00975-2
- Smit HPJ, Reinsch T, Kluß C, Loges R, Taube F 2021. Very low nitrogen leaching in grazed ley-arable-systems in northwest Europe. *Agronomy* 11. 10.3390/agronomy11112155
- Smit HPJ, Anders H, Kluß C, Taube F, Loges R, Poyda A 2025. Sward Diversity Modulates Soil Carbon Dynamics After Ploughing Temporary Grassland. *Agriculture* 15, 888. 10.3390/agriculture15080888
- Sorley M, Casey I, Styles D, Merino P, Trindade H, Mulholland M, Resch Zafra C, Keatinge R, Le Gall A, O'Brien D, Humphreys J 2024. Factors influencing the carbon footprint of milk production on dairy farms with different feeding strategies in western Europe. *J Clean Prod* 435. 10.1016/j.jclepro.2023.140104
- Soussana JF, Loiseau P, Vuichard N, Ceschia E, Balesdent J, Chevallier T, Arrouays D 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use Manag* 20, 219–230. 10.1111/j.1475-2743.2004.tb00362.x
- Steinwider A, Guggenberger T, Schauer A, Römer A, Ibi G, Frickh J 2007. Einfluss von Rationsgestaltung, Geschlecht und Genetik auf die Mastleistung von Jungrindern aus der Mutterkuhhaltung. *Züchtungskunde* 79, 128–141.

- Steinwigger A, Ertl P, Guggenberger T, Häusler J, Starz W 2017. Analysen zur Netto-Lebensmittelproduktion und zum Ackerflächenbedarf von Rindermastsystemen. *Züchtungskunde* 89, 205–218. orgprints.org/32820
- Stødkilde L, Therkildsen M, Jensen SK, Eskildsen M 2026. Biorefined grass-clover protein and grass-based roughage improve n-6/n-3 ratio in organic pork without decreasing storage stability or sensory characteristics. *Livestock Science*, 306. [10.1016/j.livsci.2026.105920](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2026.105920)
- Struck IJA, Reinsch T, Herrmann A, Kluß C, Loges R, Taube F 2019. Yield potential and nitrogen dynamics of no-till silage maize (*Zea mays L.*) under maritime climate conditions. *Eur J Agron* 107, 30–42. [10.1016/j.eja.2019.04.009](https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.04.009)
- Struck IJA, Taube F, Hoffmann M, Kluß C, Herrmann A, Loges R, Reinsch T 2020. Full greenhouse gas balance of silage maize cultivation following grassland: are no-tillage practices favourable under highly productive soil conditions? *Soil Tillage Res* 200. [10.1016/j.still.2020.104615](https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104615)
- Svoboda N, Taube F, Wienforth B, Kluß C, Kage H, Herrmann A 2013. Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. *Soil Tillage Res* 130, 69–80. [10.1016/j.still.2013.02.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.006)
- Taube F, Nyameasem JK, Fenger F, Alderkamp L, Kluß C, Loges R 2023. Eco-efficiency of leys—The trigger for sustainable integrated crop-dairy farming systems. *Grass Forage Sci* 79. [10.1111/gfs.12639](https://doi.org/10.1111/gfs.12639)
- Taube F, Nyameasem J, Koop S, & Kluß C. (2025). Pathways to climate neutrality in the agricultural and land use sectors (LULUC): A semi-quantitative potential analysis for northern Germany using the example of the Federal State of Schleswig-Holstein. *Berichte über Landwirtschaft: Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*, 103(1).
- Taube F, Henning CHCA, Albrecht E, Reinsch T, Kluß C 2015. Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. MELUR-Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein. www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/G/grundwasser/naehrstoffberichte
- Taube F, Vogeler I, Kluß C, Herrmann A, Hasler M, Rath J, Loges R, Malisch CS 2020. Yield progress in forage maize in NW Europe—Breeding progress or climate change effects? *Front Plant Sci*, 11, 1214. [10.3389/fpls.2020.01214](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01214)
- Taube F, Nyameasem J, Koop S, Kluß C 2025. Wege zur Klimaneutralität der Sektoren Landwirtschaft und Bodennutzung (LULUC): Eine semi-quantitative Potentialanalyse für Norddeutschland am Beispiel des Bundeslandes Schleswig-Holstein. *Berichte über Landwirtschaft* 103. [10.12767/BUEL.V103I1.536](https://doi.org/10.12767/BUEL.V103I1.536)
- Tergast H, Hansen H, Gidalova D 2025. Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Milchkühe. Braunschweig: Thünen-Institut. [urn:nbn:de:gbv:253-2025-000235-9](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:253-2025-000235-9)
- Tietjens F, Noack ME, Latacz-Lohmann U 2023. „Zeitenwende“ oder weiter so: Wo sehen Experten die Zukunft der Landwirtschaft? *Berichte über Landwirtschaft* 101. [10.12767/BUEL.V101I3.488](https://doi.org/10.12767/BUEL.V101I3.488)
- Tilman D 1999. The ecological consequences of changes in biodiversity: A search for general principles. *Ecology* 80, 1455–1474. [10/bfrc2f](https://doi.org/10.2307/12232)
- Trickett T, Warner DJ 2022. Earthworm Abundance Increased by Mob-Grazing Zero-Tilled Arable Land in South-East England. *Earth* 3, 895–906. [10.3390/earth3030052](https://doi.org/10.3390/earth3030052)
- UBA 2022. Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung: Stickstoff- und Phosphor-Überschüsse nachhaltig begrenzen: Fachliche Stellungnahme zur Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung. Umweltbundesamt. Texte UBA 200/2020. www.uba.de/n83903de
- Umweltatlas Berlin 2025. Niederschlagsverteilung 1991–2020. Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin. www.berlin.de/umweltatlas/klima/niederschlagsverteilung/1991-2020/einleitung/
- Vahedifar and Wu (2022) <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.001>
- Van den Pol-van Dasselaar A, Becker T, Fernández AB, Peratoner G 2021. Societal and economic options to support grassland-based dairy production in Europe. *Ir J Agric Food Res* 59, 258–269. www.jstor.org/stable/27115415

- Van den Pol-van Dasselaar A, Hennessy D, Isselstein J 2020. Grazing of Dairy Cows in Europe—An In-Depth Analysis Based on the Perception of Grassland Experts. *Sustainability* 12, 1098. 10.3390/su12031098
- Van Grinsven HJM, Holland M, Jacobsen BH, Klimont Z, Sutton MA, Jaap Willems W 2013. Costs and benefits of nitrogen for Europe and implications for mitigation. *Environ Sci Technol* 47, 3571–3579. 10.1021/es303804g
- Van Zanten HHE, Simon W, Van Selm B, Wacker J, Maindl T, Frehner A, Hijbeek R, van Ittersum MK, Herrero M 2023. Circularity in Europe strengthens the sustainability of the global food system. *Nat Food* 4, 320–330. 10.1038/s43016-023-00734-9
- Van Zanten HHE, van Ittersum MK, de Boer IJM 2019. The role of farm animals in a circular food system. *Glob Food Secur* 21, 18–22. 10.1016/j.gfs.2019.06.003
- Varela E, Jay M, Flinzberger L, Mobarak C, Plieninger T 2025. A review of high nature value farming systems in Europe: Biodiversity, ecosystem services, drivers, innovations and future prospects. *People Nat*. 10.1002/pan3.70048
- Venkata Reddy B, Sivakumar AS, Jeong DW, Woo Y, Park S, Lee S, Byun J, Kim C, Cho S, Hwang I 2015. Beef quality traits of heifer in comparison with steer, bull and cow at various feeding environments. *Anim Sci J* 86, 1–16. 10.1111/asj.12266
- Verma S, Herrmann A, Taube F, Nyameasem JK, Ehrhard D, Malisch CS, Kluß C, Poyda A 2026. Functional diversity enhances grassland productivity, but species identity drives performance. *Agric Ecosyst Environ* 397. 10.1016/j.agee.2025.110091
- Vinther FP 1998. Biological nitrogen fixation in grass–clover affected by animal excreta. *Plant Soil* 203, 207–215. 10.1023/A:1004378913380
- Vogeler I, Kluß C, Taube F 2025. Variable-rate nitrogen fertilisation to improve silage maize yield and crude protein using APSIM modelling. *Soil Research* 63, SR24180. 10.1071/SR24180
- Voigtländer G, Jacob H 1987. *Grünlandwirtschaft und Futterbau*. Ulmer, Stuttgart
- Wachendorf M, Büchter M, Trott H, Taube F 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass Forage Sci* 59, 56–68. 10.1111/j.1365-2494.2004.00430.x
- WBAE 2020. Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsbedingungen gestalten. *Berichte über Landwirtschaft* 230/2020. 10.12767/buel.vi230.308
- WBAE 2025. Mehr Auswahl am gemeinsamen Tisch. Alternativprodukte zu tierischen Lebensmitteln als Beitrag zu einer nachhaltigeren Ernährung. Gutachten. <http://www.bmlh.de/DE/ministerium/organisation/beiraete/agr-veroeffentlichungen.html>
- Wegglér K, Gerster E, Messner J 2025. The benefit of fodder legumes as dairy feeding source for reducing greenhouse gas emissions of modelled farms. *Front Sustain Food Syst* 9, 1583852. 10.3389/fsufs.2025.1583852
- Weisser WW, Roscher C, Meyer ST, Ebeling A, Luo G, Allan E, Beßler H, Barnard RL, Buchmann N, Buscot F, Engels C, Fischer C, Fischer M, Gessler A, Gleixner G, Halle S, Hildebrandt A, Hildebrand H, de Kroon H, ... Eisenhauer N 2017. Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions. *Basic Appl Ecol* 23, 1–73. 10.1016/j.baae.2017.06.002
- Wiesmeier M, Prietzel J, Barthold F, Spörlein P, Geuß U, Hangen E, Reischl A, Schilling B, von Lützw M, Kögel-Knabner I 2013. Storage and drivers of organic carbon in forest soils of southeast Germany (Bavaria) – Implications for carbon sequestration. *Forest Ecol Manag* 295, 162–172. 10.1016/j.foreco.2013.01.025
- Wild M, Komainda M, Bettin K, Jürgens K, Isselstein J 2025. Feed the green for a sustainable and protein-efficient dairy production. *Agric Syst* 223. 10.1016/j.agsy.2024.104216
- Wilkinson JM 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal* 5, 1014–1022. 10.1017/S175173111100005X
- Wilms L 2025. The potential of virtual fencing for cattle and goats with regard to learning behaviour and animal welfare. University of Göttingen. 10.53846/goediss-11548

- Winkler K, Fuchs R, Rounsevell M, Herold M 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nat Commun* 12, 2501. 10.1038/s41467-021-22702-2
- Wittnebel M, Frank S, Tiemeyer B 2023. Aktualisierte Kulisse organischer Böden in Deutschland. Braunschweig: Thünen-Institut. 10.3220/WP1683180852000
- Zehetmeier M, Baudracco J, Hoffmann H, Heißenhuber A 2012. Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6, 154–166. 10.1017/S1751731111001467
- Zehetmeier M, Hoffmann H, Sauer J, Hofmann G, Dorfner G, O'Brien D 2014. A dominance analysis of greenhouse gas emissions, beef output and land use of German dairy farms. *Agric Syst* 129, 55–67. 10.1016/j.agry.2014.05.006
- Zehetmeier M, Läßle D, Hoffmann H, Zerhusen B, Strobl M, Meyer-Aurich A, Kapfer M 2020. Is there a joint lever? Identifying and ranking factors that determine GHG emissions and profitability on dairy farms in Bavaria, Germany. *Agric Syst* 184, 10.1016/j.agry.2020.102897
- Zhong H, Li Y, Ding J, Bruckner B, Feng K, Sun L, Prell C, Shan Y, Hubacek K 2024. Global spillover effects of the European Green Deal and plausible mitigation options. *Nat Sustain* 7, 1501–1511. 10.1038/s41893-024-01428-1
- Zinnbauer M, Brandes E, Eysholdt M, Henseler M, Löw P 2024. Modelling High Resolution Agricultural Nitrogen Budgets: A Case Study for Germany. *Water* 16, 2376. 10.3390/w16172376
- Zutz M, Reinsch T, Kunz HJ, Taube F 2019. Carbon-Footprint der Rindermast in Schleswig-Holstein. Beiträge zur 63. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, 49–52. www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2019_zutz_et_al.pdf