

Thorsten Hippe

# Landwirtschaft zwischen Ökonomie und Ökologie

Eine transdisziplinäre Problemstudie zur  
Nachhaltigkeit



Verlag Barbara Budrich



Thorsten Hippe  
Landwirtschaft zwischen Ökonomie und Ökologie



Thorsten Hippe

# Landwirtschaft zwischen Ökonomie und Ökologie

Eine transdisziplinäre Problemstudie  
zur Nachhaltigkeit

Verlag Barbara Budrich  
Opladen • Berlin • Toronto 2026

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<https://portal.dnb.de> abrufbar.

Alle Rechte vorbehalten

© 2026 Verlag Barbara Budrich GmbH, Opladen, Berlin & Toronto Stauffenbergstr.  
7 | D-51379 Leverkusen | [info@budrich.de](mailto:info@budrich.de) | [www.budrich.de](http://www.budrich.de)

ISBN 978-3-8474-3424-5 (Paperback)

eISBN 978-3-8474-3365-1 (PDF)

DOI 10.3224/84743424

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Johannes Gündel, Freiburg

Titelbildnachweis: James Baltz @unsplash

Satz: Angelika Schulz, Zülpich

# Inhalt

<b>1 Frage- und Problemstellung: Landwirtschaft im ökonomisch-ökologischen Dilemma? .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Problemdefinition und –umfang: Ausmaß und Wirkweise der ökologischen Probleme der Landwirtschaft .....</b>	<b>15</b>
2.1 Rückgang der Biodiversität.....	15
2.1.1 Ausmaß des Rückgangs der Biodiversität .....	16
2.1.2 Ursachen des Rückgangs der Biodiversität.....	19
2.2 Nitratbelastung des Grundwassers .....	29
2.3 Globale Erwärmung .....	30
2.4 Bodendegradation .....	35
2.5 Externe Kosten.....	37
<b>3 Problemstellung: Historische Genese der industriellen Landwirtschaft .....</b>	<b>41</b>
3.1 Die (biologisch fundierte) „Erste Agrarrevolution“ .....	42
3.2 Die (fossil-industriell fundierte) „Zweite Agrarrevolution“ als Folge des Haber-Bosch-Verfahrens .....	44
3.3 Umweltprobleme in der Landwirtschaft als Folge eines Sozialen Dilemmas .....	54
<b>4 Agrarwirtschaftliche Problemlösungskonzepte.....</b>	<b>57</b>
4.1 Konsistenz-Konzept I: Ökologischer Landbau (ÖLB).....	58
4.2 Suffizienz-Konzepte: Reduktion (oder Stopp?) der Produktion und des Konsums tierischer Produkte .....	64
4.2.1 Vegane Ernährung .....	64
4.2.2 Ernährung auf Basis einer Tierhaltung ohne Nahrungskonkurrenz.....	67
4.2.3 Nutzung der Flächeneinsparung für mehr ÖLB oder für wiedervernässte Moore? .....	73

4.3	Ökomodernistische Effizienz-Konzepte: Digitale Präzisionslandwirtschaft und molekularbiologische Präzisionsgenetik .....	75
4.3.1	Digitale Präzisionslandwirtschaft .....	75
4.3.2	Molekularbiologische Präzisionsgenetik .....	79
4.4	Konsistenz-Konzept II: Polykultur- und Agroforstsysteme .....	85
4.4.1	Das erste Prinzip: Anbau in Mischkulturen .....	86
4.4.2	Das zweite Prinzip: Integration vieler Bäume und Büsche .....	86
4.4.3	Das dritte Prinzip: Dichte Bepflanzung, Bedeckung und Schonung des Bodens .....	87
4.4.4	Das vierte Prinzip: Extensive Rotationsbeweidung .....	89
4.4.5	Vor- und Nachteile .....	90
4.5	Zwischenfazit: Vergleich der agrarwirtschaftlichen Problemlösungskonzepte .....	94
<b>5</b>	<b>Politische Problembearbeitung .....</b>	<b>97</b>
5.1	Globale Ebene .....	97
5.1.1	Biodiversitätskonvention der Vereinten Nationen .....	97
5.1.2	Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen .....	99
5.2	Europäische Ebene .....	102
5.2.1	EU-Richtlinien zur Regulierung des Agrarumweltschutzes ...	102
5.2.2	Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) von 1962 - 2022 .....	103
5.2.3	Green Deal, Farm-to-Fork- und Biodiversitätsstrategie .....	109
5.3	Nationale Ebene .....	118
5.3.1	Bundesklimaschutzgesetz .....	118
5.3.2	Bundesnaturschutzgesetz .....	119
5.3.3	Bundesbodenschutzgesetz .....	120
5.3.4	Pflanzenschutzgesetz .....	121
5.3.5	Düngegesetz .....	122
<b>6</b>	<b>Sozialwissenschaftliche Problemlösungsinstrumente .....</b>	<b>127</b>
6.1	Ökologische Subventionen: öffentliches Geld (nur) für öffentliche Güter .....	127
6.1.1	Maßnahmenbasierte oder ergebnisorientierte Subventionszahlungen? .....	129

6.1.2	Einzelbetriebliche oder überbetrieblich-kollektive Subventionszahlungen? .....	132
6.1.3	Höhe der Subventionsprämien.....	133
6.1.4	Finanzpolitische Kosten der Subventionen.....	134
6.2	Verursacherprinzip: Bepreisung negativer externer Effekte .....	136
6.2.1	Bepreisung der landwirtschaftlichen Produktion .....	138
6.2.2	Bepreisung des Nahrungsmittel-Konsums: Klima-Steuer auf Tierprodukte .....	147
6.2.3	Zwischenfazit.....	153
6.3	Grenzausgleichsabgaben: Bepreisung von Agrar-Importen.....	156
6.4	Zölle statt Grenzausgleichsabgaben? .....	159
<b>7</b>	<b>Restriktionen: Hindernisse und Hürden der Problemlösung.....</b>	<b>163</b>
7.1	Ökonomischer Kosten- und Wettbewerbsdruck.....	163
7.1.1	Ökologisch konditionierte Subventionen als Lösung?.....	170
7.1.2	Ökologische Lenkungsabgaben als Lösung? .....	171
7.2	Politische Interessen und Macht(verhältnisse) .....	178
7.2.1	Rolle der EU-Kommission .....	181
7.2.2	Rolle des EU Ministerrats für Landwirtschaft und Fischerei..	185
7.2.3	Rolle des Europäischen Parlaments .....	186
7.2.4	Rolle des politischen Kontexts .....	187
7.3	Politisches Misstrauen, kognitive Wahrnehmungen, kulturelle Präferenzen und normative Einstellungen.....	189
7.3.1	Farmer*innen.....	189
7.3.2	Bürger*innen und Verbraucher*innen.....	201
<b>8</b>	<b>Resümee .....</b>	<b>209</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>229</b>



# 1 Frage- und Problemstellung: Landwirtschaft im ökonomisch-ökologischen Dilemma?

Klimawandel gab es auf der Erde zu allen Zeiten. Zum Beispiel vor 252 Mio. Jahren<sup>1</sup>. Damals brach im heutigen Sibirien ein gigantischer Vulkan aus, dessen gewaltige Lavaströme das Tunguskabecken entzündeten, in dem riesige Mengen fossiler Rohstoffe lagerten: Öl, Gas und v. a. Kohle. Deren Verbrennung setzte über lange Zeiträume viel CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre frei, so dass sich dessen Konzentration dort auf irrwitzige Werte<sup>2</sup> erhöhte. Das CO<sub>2</sub> erwies sich nicht als Treiber eines verstärkten Pflanzenwachstums – im Gegenteil. Große Teile der Wälder gingen zugrunde, weil das Treibhausgas die globale Durchschnittstemperatur extrem erhöhte (um ca. 10°C). Das aus den verdorrten Bäumen und Vegetation zusätzlich freigesetzte CO<sub>2</sub> kurbelte die Erwärmung weiter an. In den Ozeanen führte die Bindung des CO<sub>2</sub> in Form von Kohlensäure zu stark sinkenden ph-Werten. Da auch Niederschläge säurehaltiger und durch den höheren Wassergehalt der wärmeren Atmosphäre intensiver wurden, nahm die Verwitterung von Gestein an Land stark zu, so dass stetig große Mengen an Nährstoffen wie z. B. Phosphor in Gewässer und Meere strömten. Sowohl durch mikrobielle Zersetzung der dadurch in Massen erblühenden Algen, die Sauerstoff verbraucht, als auch durch die geringere Aufnahmefähigkeit wärmeren Meerwassers für Sauerstoff bildeten sich weitflächig sauerstofffreie und -arme Zonen. Diese waren (ebenso wie der niedrige ph-Wert) für viele Meeresbewohner lebensfeindlich, nicht aber für Schwefelbakterien, die hohe Mengen Schwefelwasserstoff produzierten, ein für viele Lebewesen hochgiftiges Gas.

Trotz des langen Zeitraums von ca. 60000 Jahren, über den sich dieses Geschehen erstreckte, überwältigte dieser Klimawandel die geschichtliche Anpassungsfähigkeit der meisten Arten: 75 bzw. 90 % der Land- bzw. Meereslebewesen starben aus. Dieses sog. Perm-Trias-Grenze-Ereignis war zwar das größte, aber nur eins von mehreren Massenaussterben in der Geschichte der Erde. Die beiden darauf folgenden Katastrophen des Trias-Jura-Ereignis vor 201 Mio. Jahren und des PETM (Paläozän/Eozän-Temperaturmaximum) vor 56 Mio. Jahren fielen etwas weniger extrem aus, hatten aber eine ähnliche Ursache: einen deutlich erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre durch

1 Zum Folgenden Brannen (2017, 2025), Hoppenhaus (2024, 155ff.), Lynas (2021), Ward (2007), Goulson (2023).

2 Ungefähr 8000 ppm (parts per million) (Brannen 2017, 132).

Vulkanismus in heute unvorstellbarem Ausmaß. Auch die Erdgeschichte wiederholt sich nicht exakt, aber sie reimt sich.

Schreibt der Mensch nun den nächsten Vers?

Ein sich natürlich wandelndes Klima ist wie gesehen in der Tat gut belegt, aber auch, dass dieser Wandel katastrophale Ausmaße annehmen kann, die oft einen sich natürlich wandelnden CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre als Ursache haben. Ebenso belegt ist, dass der Mensch ein (besonders mächtiger) Teil dieser Natur ist. So erklärt sich, wie es der menschlichen Zivilisation gelingen konnte, ab ca. 1750 quasi selbst zum erdgeschichtlich wirkmächtigen „Supervulkan“ zu werden und durch Verbrennung derselben fossilen Rohstoffe im Prinzip dieselben geophysikalischen Effekte auszulösen wie vor 250, 201 bzw. 56 Mio. Jahren (Brannen 2025). Zwar ist der Umfang der ihr dafür heute in der Erdkruste zur Verfügung stehenden fossilen Ressourcen deutlich kleiner als damals gegen Ende des Perm, sodass die Menschheit (wahrscheinlich) nicht in die Verlegenheit kommen wird, ihre heute zuweilen stolz betonte geschichtliche Anpassungsfähigkeit auch an ein derartig extremes „Klima beispielloser Boshaftigkeit“ (Paul Wignall) erproben zu müssen.

Gleichwohl hat die heutige menschliche Zivilisation den damaligen erdgeschichtlichen Geschwindigkeitsrekord, mit dem sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft erhöht, bereits in den Schatten gestellt: Deren Anstieg erfolgt heute ugf. 10-fach schneller als in der Perm-Trias-Katastrophe. Zudem ist der Umfang der heutigen Fossilressourcen in der Erde immer noch mehr als groß genug, um bis zum Jahr 2100 Klimaveränderungen *singulärer erdgeschichtlicher Rasanz* auszulösen, die zu einer (bei der derzeitigen Klimapolitik) wahrscheinlichen Temperaturerhöhung um ca. 2–4°C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter<sup>3</sup> führen. Infolge einiger „positiver“ Rückkopplungsschleifen, wie z. B. dem Auftauen der arktischen Permafrostböden, in denen große Mengen des Treibhausgases Methan lagern, kann es auch etwas mehr werden. Laut einer gemeinsamen Stellungnahme der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG + DPG 2025) beschleunigt sich die Erderwärmung inzwischen, sodass man „unter den derzeitigen politischen Rahmenbedingungen“ bis 2100 eine Erhöhung um 4–5°C erwarten könne. Diese Diagnose einer *Beschleunigung* ist unter Klimaforschenden zwar nicht Konsens,<sup>4</sup> doch allein das Risiko einer solchen Entwicklung gibt zu denken. Zumal bei einem klimapolitischen „Backlash“ durch derzeit immer erfolgreichere populistische Kräfte eine noch stärkere Erhöhung zu erwarten wäre.

3 <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>.

4 <https://www.sciencemediacenter.de/angebote/beschleunigt-sich-die-erderwaermmun-g-tatsaechlich-25169>.

Aber bereits eine Temperaturerhöhung um 2–4°C würde nach heutigen wissenschaftlichen Studien die Anpassungsfähigkeit vieler Pflanzen- und Tierarten heillos überfordern, sodass der Mensch ein weiteres erdgeschichtliches Massenaussterben zu befördern droht. Zumal er zahlreiche weitere umweltschädliche Aktivitäten betreibt, die die Folgen der Globalen Erwärmung auf viele Weise verschärfen. Mit dem Aussterben „der anderen“ (Busse 2019) steht aber nicht nur die Humanität, sondern auch die geschichtliche Anpassungsfähigkeit der komplexen menschlichen *Zivilisation* selbst auf dem Spiel. Denn zum einen ist der Mensch als Teil der Natur, jedenfalls solange er nicht zum technoiden Übermensch wird, biologisch-ökologisch auf seine irdischen Mit-Lebewesen angewiesen (Goulson 2023). Zum anderen würden allein Erhöhungen der globalen Mitteltemperatur um über 2°C das erdgeschichtlich bescheidene Maß des Menschen sprengen: Es wäre (deutlich) mehr als das, was seine frühesten Vorfahren, seit sie den Planeten vor ca. 4 Mio. Jahren (bei viel geringerer Bevölkerungsdichte) erstmals bevölkerten, jemals erlebt haben.

Anders als bei der direkten Verbrennung von Kohle, Öl und Gas im heutigen Industrie-, Verkehrs- und Energiesektor sind die *geophysikalischen* Parallelen zu den Ursachen der o. g. erdgeschichtlichen Katastrophen im unscheinbaren, volkswirtschaftlich oft als nebensächlich betrachteten Sektor der Landwirtschaft nicht offensichtlich. Sie scheint primär deren klimatisches Opfer und von den anderen Sektoren räumlich und ökonomisch in die Enge und Ecke gedrängt zu werden, aber an den Umwelt- und Klimaschäden ursächlich nicht selbst in großem Umfang beteiligt zu sein. Obgleich an diesem Eindruck manches nicht ganz falsch ist, zeigt ein genauer Blick, dass dieser Schein trügt.

Denn die industrielle Fabrikation ihrer Düngemittel, Maschinen und Pestizide verbrannte und verbrennt in den letzten gut 150 Jahren bis heute massive, global immer noch zunehmende Mengen an Energie und damit Gas, Kohle und Öl. Ohne die damit befüllten Verbrennungsmotoren wäre ihr imposanter Maschinenpark nutzlos. Die Vernichtung von Wäldern und Wiesen sowie die damit verbundene Freisetzung von CO<sub>2</sub> überlässt die heutige globalisierte Landwirtschaft nicht den mittelbaren Wirkungen der Globalen Erwärmung, sondern erledigt sie durch Rodungen u. ä. zum Teil gleich direkt in eigener Regie. Dies insbesondere, um Platz für jene Mais- und Sojafelder als hochenergetisches, wenngleich nicht artgerechtes Futter zu schaffen, um damit auf Höchstleistung gezüchtete Nutztiere zu ernähren. Dies bildet sich zugleich in immer neuen Rekorden der globalen landwirtschaftlichen Methanemissionen in die Atmosphäre ab (wozu aber auch der Reisanbau beiträgt). Zudem setzt die heutige industrielle Landwirtschaft – was nur mit Hilfe fossiler Energie im Haber-Bosch-Verfahren möglich geworden ist – diverse Formen reaktiven Stickstoffs frei, z. B. Lachgas (aus Düngemitteln), das einen besonders potenten Beitrag zum Bau des globalen Treibhauses darstellt. Ins-

gesamt geht ca. ein knappes Drittel aller historisch kumulierten THG-Emissionen seit 1820 auf die Landwirtschaft zurück (Infante-Amate u. a. 2025, 4).

Eine weitere interessante *geophysikalische* Parallele zum Perm-Trias-Ereignis ist, dass ihre Düngemittel viel von jenem Phosphor freisetzen, das heute wie in erdgeschichtlicher Zeit – zusammen mit der Globalen Erwärmung – Algenblüten sowie sauerstoffarme und -freie Zonen in Gewässern und Meeren gebiert, was Fische u. a. Meereslebewesen heute wie damals schädigt, d. h. oft auch tötet. Das lässt sich gegenwärtig z. B. in der Ostsee besonders stark beobachten. An Land sind es dagegen v. a. die im Agrarsektor systematisch genutzten Pestizide, die weitreichende toxische Wirkungen auf viele Tiere und Pflanzen ausüben.

Durch all die o. g. Stoffe und Wirkmechanismen ist die Landwirtschaft nicht nur am Klimawandel, sondern auch am derzeitigen Rückgang der Artenvielfalt, der nicht wenige Forscher\*innen vor einem weiteren erdgeschichtlichen Massenaussterben warnen lässt, in erheblichem Maß mitbeteiligt (siehe z. B. OECD 2025b).

Was aber ganz genauso stimmt: Durch all diese Stoffe hat sie im letzten Jahrhundert vielen Milliarden Menschen das Licht der Welt geschenkt, das diese ohne sie wahrscheinlich nie erblickt hätten (Smil 2023, 2025). Ganz anders als der ungehobelten Gewalt der Gigavulkane des Perms gelang es der industriellen Landwirtschaft, die energetischen Kräfte der fossilen Rohstoffe ebenso konstruktiv wie raffiniert zu bündeln und zu lenken. Dadurch vollbrachte sie das Meisterstück, jene vom britischen Ökonomen Robert Malthus im 19. Jahrhundert zum „Bevölkerungsgesetz“ erhobene Theorie empirisch über den Haufen zu werfen, derzufolge ein Teil der Menschheit schicksalhaft wiederkehrend zu Hunger, Armut und Seuchen verdammt sei, da der Bodenertrag und damit die Nahrungsproduktion nur linear wachsen könne, wogegen die Bevölkerungszahl stets exponentiell zunehme („Malthusianische Falle“). Die fossil befeuerte Landwirtschaft hat erheblich dazu beigetragen, dieses theoretisch postulierte Verhältnis im 20. Jahrhundert zum Wohle unzähliger Menschen empirisch definitiv umzukehren. Heute genügen die global produzierten Mengen an Lebensmitteln, um alle derzeit lebenden Menschen angemessen zu versorgen (Jäger 2024, 25). Dass dennoch knapp jeder zwölfte Mensch Hunger leidet, hat andere Gründe (z. B. Krieg, Armut).

Doch ebendieses Paradox führt die globale Landwirtschaft heute zugleich in eine verwickelte Zwickmühle, die sie vor eine zentrale Herausforderung stellt: Auf der einen Seite wird prognostiziert, dass die weltweite Nachfrage nach Kalorien aus Nutzpflanzen bei Fortsetzung der von ihr selbst lancierten, heutigen Ernährungs- und Produktionstrends in Folge des globalen Bevölkerungswachstums von heute 8 Mrd. auf knapp 10 Mrd. Menschen im Jahr 2050 voraussichtlich um ca. 50 % im Vergleich zum Jahr 2010 steigen wird (Fischer 2024; Sands u. a. 2023; JKI 2024, 12). Aus dieser *demografischen* Perspektive erscheinen eine zusätzliche Ausweitung der Agrarfläche zu Las-

ten der Natur und/oder weitere fossil befeuerte Produktivitätssteigerungen durch industrielle Intensivierung der Landnutzung mit all ihren höchst ambivalenten Stoffen unumgänglich. Auf der anderen Seite trägt jedoch bereits die heutige landwirtschaftliche Produktionsweise und ihr Flächenverbrauch wie oben grob skizziert erheblich zu zentralen Umweltproblemen wie der Globalen Erwärmung und dem Artensterben bei, die durch biologisch-ökologische Schäden auch ihre eigene langfristige (Boden-)Produktivität zunehmend zu untergraben drohen und so die hinreichende Versorgung vieler Menschen mit Lebensmitteln und sauberem Wasser gefährden. Eine Fortsetzung, geschweige denn Ausweitung und Intensivierung dieser Prozesse erscheinen aus *ökologischer* Perspektive letztlich selbstmörderisch.

Behält Robert Malthus – auf sehr langen ökologischen Umwegen, von denen er nichts ahnen konnte – also am Ende doch Recht? Hat die Landwirtschaft quasi vor vielen Dekaden nur eine riesige ökologische Hypothek aufgenommen und bis heute mit Kettenkreditverträgen beständig prolongiert, die sie fortan aber mit wachsenden Tilgungsraten zurückzahlen muss, unter denen sie über kurz oder lang dahinsiechen wird?

Dieses knifflige Spannungsverhältnis zwischen landwirtschaftlicher Ökonomie und Ökologie (Glaubrecht 2023, 183) wirft bedeutsame Fragen zur Zukunftsfähigkeit des Agrarsektors und damit der Gesellschaft auf, die ich im Folgenden genauer untersuche:

- a) Welche unterschiedlichen *agrарwirtschaftlichen Lösungskonzepte* gibt es, um den o. a. Zielkonflikt zwischen global wachsender Nahrungsmittel-Nachfrage und ökologischer Gefährdung der Lebensgrundlagen (durch Landwirtschaft) zu entschärfen? Welche Vor- und Nachteile haben diese Konzepte? Wie überzeugend erscheint ihre jeweilige Bilanz im Licht verschiedener Urteilkriterien? Zeigen sich Kombinationsmöglichkeiten? (Kap. 4)
- b) Wie hat das politische System bisher auf das Problem reagiert? Auf welche tradierten institutionellen Strukturen und Konventionen der Agrarpolitik trifft die ökologische Herausforderung? Inwieweit und mit welchen Maßnahmen versucht das agrarpolitische System die ökologischen Probleme zu adressieren (oder ignorieren)? Welche *agrарpolitischen Entwicklungslinien* werden deutlich? Wie erfolgreich ist die Agrar(umwelt)politik dabei, d. h. welche Schwächen und Stärken weisen deren Maßnahmen im Licht verschiedener Urteilkriterien aus wissenschaftlicher Sicht auf? (Kap. 5)
- c) Welche unterschiedlichen *wirtschaftspolitischen Lösungsinstrumente* werden in den Sozialwissenschaften zur künftigen Gestaltung der Agrar(umwelt)politik empfohlen und diskutiert, um im Agrarsektor Strukturen zu schaffen bzw. die dortigen Akteure zu Handlungen zu veranlassen, die geeignet sind, den Zielkonflikt zwischen global wachsendem Nahrungsmittelbedarf und ökologischer Gefährdung der Lebensgrund-

lagen durch die Landwirtschaft zu entschärfen? Welche Vor- und Nachteile haben diese wirtschaftspolitischen Instrumente? Wie überzeugend stellt sich deren jeweilige Bilanz im Licht verschiedener Urteilkriterien dar? Zeigen sich Kombinationsmöglichkeiten? (Kap. 6)

- d) Auf welche ökonomischen, politischen und sozialpsychologischen *Restriktionen*, d. h. Hürden, Hindernisse, Zielkonflikte u. ä. treffen die zuvor analysierten agrarwissenschaftlichen Problemlösungskonzepte und die wirtschaftspolitischen Problemlösungsinstrumente? Wie und unter welchen Bedingungen lassen sich die Restriktionen überwinden und wie wahrscheinlich ist dies? (Kap. 7)

Kapitel 8 zieht ein Resümee.

Vor dem soeben skizzierten Kern der Untersuchung in Kap. 4-7 (s. o.) stellt Kapitel 2 als basale Grundlage zunächst den wissenschaftlichen Erkenntnisstand zu *Ausmaß und Umfang zentraler heutiger (agrar)ökologischer Probleme* genauer dar und beschreibt, zu welchem Anteil und durch welche Wirkmechanismen die industrielle Landwirtschaft ursächlich an diesen Problemen beteiligt ist (Definition, Ausmaß und Umfang der Problematik). Danach erläutert Kapitel 3 die *geschichtliche Entstehung des Problems*, d. h. die historischen Ursachen für die Entwicklung eines Agrarsystems, das erhebliche ökologische Schäden als unbeabsichtigte Nebenfolge generiert. Denn nicht wenige der damaligen kausalen Zusammenhänge wirken bis heute fort.

Der räumliche Fokus der Untersuchung der o. g. Fragen liegt auf der Europäischen Union. Die EU ist heute nicht nur ein zentraler globaler Akteur der Agrarproduktion, sondern auch der größte Agrar-Exporteur und zweitgrößte Agrar-Importeur der Welt. Gefragt wird also, inwieweit und inwiefern der EU Optionen zur Verfügung stehen, um ihren nötigen Anteil zur Entschärfung des Zielkonflikts zwischen (drohender) steigender globaler Nahrungsmittelnachfrage und globaler Gefährdung der ökologischen Lebensgrundlagen durch die Landwirtschaft beizutragen. Neben dem Fokus auf die EU wird dabei wo nötig bzw. sinnvoll auch auf wichtige internationale bzw. globale Rahmensetzungen und zur exemplarischen Vertiefung auf die nationale Ebene in Deutschland eingegangen.

## 2 Problemdefinition und -umfang: Ausmaß und Wirkweise der ökologischen Probleme der Landwirtschaft

Zu den dringlichsten ökologischen Problemen, die von der Landwirtschaft (mit-)verursacht werden, zählen insbesondere der Rückgang der Biodiversität, die Bodendegradation, die Eutrophierung von Gewässern, die Nitratbelastung des Grundwassers und last but not least die Globale Erwärmung.

### 2.1 Rückgang der Biodiversität

Unter Biodiversität versteht man die Vielfalt des Lebens auf unserem Planeten, die auf drei zentralen Säulen ruht: a) die Vielfalt der Arten und ihre jeweilige Häufigkeit sowie Biomasse, b) die genetische Vielfalt innerhalb der Arten und c) die Vielfalt der Ökosysteme (Fischer/Oberhansberg 2020). Die existenzielle Bedeutung der Biodiversität sowohl für die Lebensqualität der Menschheit als auch für die Produktivität der Landwirtschaft liegt darin, dass beide abhängig sind von zahlreichen elementaren sog. „Ökosystemdienstleistungen“, welche die Natur dem Menschen quasi kostenlos darbietet. Ob die Natur diese scheinbar selbstverständlichen, vermeintlich automatischen, unsichtbar und für viele Menschen völlig unbewusst im Hintergrund ablaufenden „Dienstleistungen“ jedoch (weiter) erbringt bzw. in welchem Ausmaß und welcher Qualität, wird in hohem Maß vom Grad der Biodiversität bestimmt. Zu den Ökosystemdienstleistungen zählen z. B. das Recycling organischen Materials (Tierkot, Laub und andere Pflanzenteile, Tierkadaver) in nährstoffreichen Humus, die Schädlingskontrolle (Vielfalt verhindert „Plagen“ einzelner Arten), die Filterung schmutzigen Wassers im Boden, die Bereitstellung von Böden mit vor Überflutung schützender Schwammstruktur und die Bestäubung von Blüten, aus denen Früchte werden, deren Qualität von der Vielfalt der Bestäuber-Arten abhängt. Biodiversität senkt zudem das menschliche Infektionsrisiko für parasitäre Krankheiten<sup>5</sup> und erhöht die ökologische Resilienz einer Landschaft, d. h. die Stabilität ihrer Ökosystemdienstleistungen im Angesicht wechselnder Umwelteinflüsse und damit z. B. auch ihre Anpassungsfähigkeit an die bereits laufende Globale Erwärmung

5 Z. B. die von Mäusen auf Zecken und dann auf Menschen übertragene Borreliose.

(Busse 2019; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina u.a. 2020; Goulson 2023).

### 2.1.1 Ausmaß des Rückgangs der Biodiversität

Wie entwickelt sich die Biodiversität? Laut dem UN-Weltbiodiversitätsrat (IPBES 2019) ist die aktuelle Rate des globalen Artensterbens 10 bis 100-mal höher als im Durchschnitt der letzten 10 Millionen Jahre, wobei sich ein beschleunigender Trend zeige. Die Aussterberate, d. h. der durchschnittliche Anteil der seit dem Jahr 1500 ausgestorbenen Arten in einer Artengruppe, steige seit 1900 drastisch an. In den meisten ländlichen Lebensräumen sei die Artenvielfalt seit 1900 im Durchschnitt um mindestens 20 % gesunken. Von den heute geschätzt 8 Mio. existierenden Tier- und Pflanzenarten seien derzeit ca. 1 Mio. kurz- bis mittelfristig vom Aussterben bedroht. Das Aussterberisiko, d. h. der summarische Anteil der bis dato untersuchten Arten in einer Artengruppe, die laut Kriterien der IUCN (International Union for Conservation of Nature) gefährdet, stark gefährdet, vom Aussterben bedroht oder ausgestorben sind, beträgt je nach Pflanzen- bzw. Tiergruppe zwischen knapp 15 und etwas über 40% (Tabelle 1). Global befindet sich die Häufigkeit von >71000 erfassten Arten bei 48 % von ihnen im Rückgang, 49 % sind stabil, während 3 % steigen (Finn u.a. 2023). Eine oft zitierte globale Metaanalyse (Dirzo u.a. 2014) ergab, dass die Zahl der Insekten bei zwei Drittel der beobachteten Arten seit dem Jahr 1500 um durchschnittlich 45 % abgenommen hat. Angesichts dieser Zahlen warnen viele Biowissenschaftler\*innen davor, dass wir auf der Schwelle zu einem „sechsten Massenaussterben“ auf dem Planeten Erde stehen (z. B. Cowie u. a. 2022; Böhning-Gaese/Bauer 2023; Glaubrecht 2023).

Ein weiterer Indikator zur Messung der Biodiversität ist die MSA („mean species abundance“), die von 0% (alle ursprünglichen Arten ausgestorben) bis 100% (ursprüngliche Artenzusammensetzung völlig intakt) reicht. Er integriert sowohl die Diversität der Arten als auch deren jeweilige Populationszahl. Laut der OECD (2025b, 149f.) ist der MSA für Vögel und Säugetiere seit 1970 global um ca. 1 Prozentpunkt pro Dekade gesunken, auf 59,7% (2020). Bei Fortführung der derzeitigen Politik projiziert sie einen weiteren Rückgang auf 56,5% in 2050.

Man muss sich bewusst sein, dass die empirische Datenlage zur Artenvielfalt begrenzt ist, da viele Arten in der Biologie auch heute noch unbekannt und/oder bzgl. ihres Vorkommens und Verbreitung noch nicht wissenschaftlich erforscht sind, v. a. bei Insekten, Pilzen und Mikroorganismen (Glaubrecht 2023, 212ff.). So kann es sein, dass mehr Arten als derzeit bekannt ausgestorben/bedroht sind bzw. Arten vor ihrer Entdeckung aussterben.

**Tabelle 1:** Globales Aussterberisiko für diverse Artengruppen laut IUCN (2024)

	ausgestorben oder in der Natur ausgestorben	vom Aussterben bedroht, stark gefährdet oder gefährdet	unzureichende Datengrundlage
Pilze	0 %	41,6 %	20,0 %
Gefäßpflanzen	0,3 %	40,4 %	8,1 %
Amphibien	0,5 %	35,9 %	11,3 %
Säugetiere	1,4 %	24,5 %	12,6 %
Insekten	0,5 %	22,4 %	23,7 %
Fische	0,3 %	15,4 %	17,1 %
Vögel	1,4 %	12,2 %	0,3 %

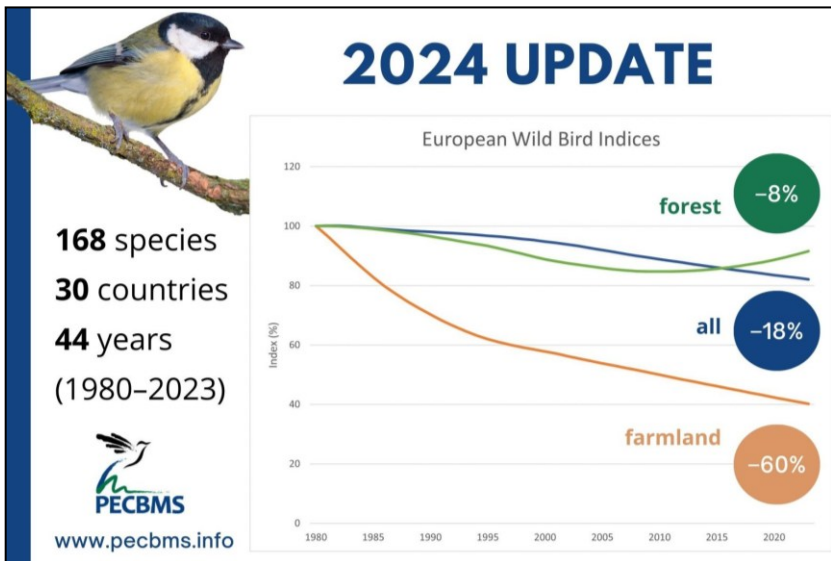
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten in Wikipedia, [https://de.wikipedia.org/wiki/Rote\\_Liste\\_gef%C3%A4hrdeter\\_Arten](https://de.wikipedia.org/wiki/Rote_Liste_gef%C3%A4hrdeter_Arten)

Diese Unwissenheit der Menschheit schützt jedoch nicht vor Torheit, d. h. den problematischen Folgen des Artensterbens; womöglich wird dessen Ausmaß dadurch sogar signifikant unterschätzt (Glaubrecht 2025, 107).

Auch in Europa ist die empirische Datenlage begrenzt, da es keine alle Staaten umfassende systematische Langzeiterfassung zur Entwicklung aller bekannten Arten gibt, insbesondere nicht zu den für die Bodenfruchtbarkeit und Landwirtschaft wichtigen Bodenmikroorganismen, sondern nur Untersuchungen v. a. zu vielen Vögeln und daneben zu ausgewählten Insekten und Pflanzen in bestimmten Ländern. Vögel(bestände) gelten als besonders aufschlussreiche, repräsentative Indikatoren für die Gesamt-Biodiversität eines Lebensraums, da sie jeweils eng an bestimmte, reichhaltige Habitate angepasst sind und ihr Vorkommen schnell auf Umweltveränderungen (z. B. Abnahme von Insekten als Nahrungsquelle) reagiert.

In Europa zeigen empirische Studien einen drastischen, anhaltenden Rückgang der Populationszahlen insbesondere von Vögeln *der Agrarlandschaft* (minus 60 %) zwischen 1980 und 2023, der um das Siebenfache stärker ausfällt als die Abnahme bei den Vögeln des Waldes im selben Zeitraum (minus 8%), wo sich die Bestände seit 2010 zudem leicht erholen (Abbildung 1; PECBMS 2024; OECD 2023, 60). Die Zahl der Schmetterlinge des Grünlands ist seit 1990 um 33% gesunken (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina u. a. 2020, 11). Auch für Deutschland belegen viele Untersuchungen eine deutliche Abnahme der Biomasse von Insektenpopulationen, der Bestände von Schmetterlings- und Pflanzenarten sowie Vögeln (Wirth u. a. 2024). Deren absolute Zahl ist dort seit Beginn der 1990er-Jahre um 14 Mio. zurückgegangen (Krumenacker 2021). Der von der Bundesregierung im Rahmen der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt erhobene Indi-

kator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“, der die bundesweiten Bestandsgrößen ausgewählter repräsentativer Vogelarten abbildet, zeigt *spezifisch im Agrarland* (weniger in anderen Räumen wie z. B. Siedlungen) einen massiven, anhaltenden Rückgang (Bundesregierung 2023, 16). So sind z. B. die Zahlen des Kiebitz und der Feldlerche seit 1990 um 75 % bzw. 50 % gesunken (Baier 2023). Eine Studie, die in Deutschland von 2008-2017 Insektenpopulationen in 150 Grünland- und 140 Waldflächen verschiedenster Art eruierte, ergab deutliche Rückgänge bei deren Artenzahl um ca. ein Drittel (Seibold u. a. 2019).



**Abbildung 1:** Rückgang der Vogelpopulationen in Europa 1980-2023.  
Quelle: Pan-European Common Bird Monitoring Scheme (PECBMS), <https://pecbms.info/european-wild-bird-indices-2024-update/>. Mit freundlicher Genehmigung von Alena Klvanova (Autorin der Grafik).

Für die USA kommt eine umfassende Meta-Studie (76957 Studien aus 35 Beobachtungsprogrammen) zur Verbreitung von Schmetterlingen (Edwards u. a. 2025), die laut David Wagner (Entomologe an der Universität Conneticut) die bisher datenreichste Studie zu Insekten ist, zum Ergebnis, dass die Anzahl der Bestände einer Art dort vom Jahr 2000 bis 2022 im Schnitt um 22 % gesunken ist. Die Zahl der Vögel ist in Nordamerika in den letzten 50 Jahren um drei Milliarden gesunken, d. h. fast ein Drittel (Krumenacker 2021).

In der OECD berichten 22 Staaten zwischen 2010 und 2020 eine negative Entwicklung bei Vögeln der Agrarlandschaft, wogegen nur 5 Länder eine positive Tendenz aufweisen (OECD 2025a, 12).

Verschiedene empirische Studien zeigen, dass eine höhere Artenvielfalt der Vögel in der näheren Umgebung psychisches Wohlergehen und Lebenszufriedenheit der Menschen verbessert (Methorst u. a. 2021; Methorst 2024; Krumenacker 2021). Die kausalen Mechanismen dahinter sind empirisch noch unklar. Der Verlust an Biodiversität, der immer monotonere Vogelchor bedroht also nicht nur spröde materielle „Ökosystemdienstleistungen“, sondern beeinträchtigt schon heute auch die Lebensfreude und damit wohl auch wechselseitige soziale Verträglichkeit der Menschen.

### 2.1.2 Ursachen des Rückgangs der Biodiversität

Was erklärt den starken Rückgang der Biodiversität? Nicht die einzigen, aber mit Abstand wichtigsten Faktoren sind (Härdtle 2024):

1. die Zerstörung und Degradation von Lebensräumen durch Übernutzung
2. übermäßige anthropogene Einträge von Stickstoff in die Umwelt
3. die Globale Erwärmung
4. das Auftreten von Neobiota<sup>6</sup> (invasive Arten, die meist unbeabsichtigt durch Menschen (v. a. per Schiff) in ein für sie neues Gebiet einwandern)

Da fast alle dieser Faktoren in hohem Maße bzw. zu einem mehr oder weniger erheblichen Teil durch landwirtschaftliche Praxen bedingt sind, konstatieren Pretty u. a. (2018, 442):

„Evidence shows that agriculture is the single largest cause of biodiversity loss.“

Zu diesem Fazit kommen auch die Stellungnahme der Nationale Akademie für Wissenschaften Leopoldina u.a. (2020, 27) und eine neuere umfangreiche empirische Studie zum Rückgang der Vogelpopulationen in Europa (Rigal u. a. 2023). Schätzungen quantifizieren den ursächlichen Anteil der Landwirtschaft an den globalen Biodiversitätsverlusten auf ca. 80 % (Jäger 2024, 60).

So zählt zum o. g. ersten Faktor „Zerstörung und Degradation von Lebensräumen durch Übernutzung“ insbesondere die großflächige Rodung von (v. a. tropischen) Wäldern. Diese geht global zu ca. 60 % auf das Konto der Vergrößerung von Agrarflächen für Weideland zur Fleischproduktion (41 %) sowie Sojaanbau und Palmöl (18,4 %) (Ritchie 2024b), wobei dieses Soja zu 76 % als Tierfutter dient (und nur zu 7 % für Sojaprodukte). Die globale

6 Ein Beispiel ist die Kanadische Goldrute, die sog. Dominanzbestände bilden und so die heimische Artenvielfalt verdrängen kann.

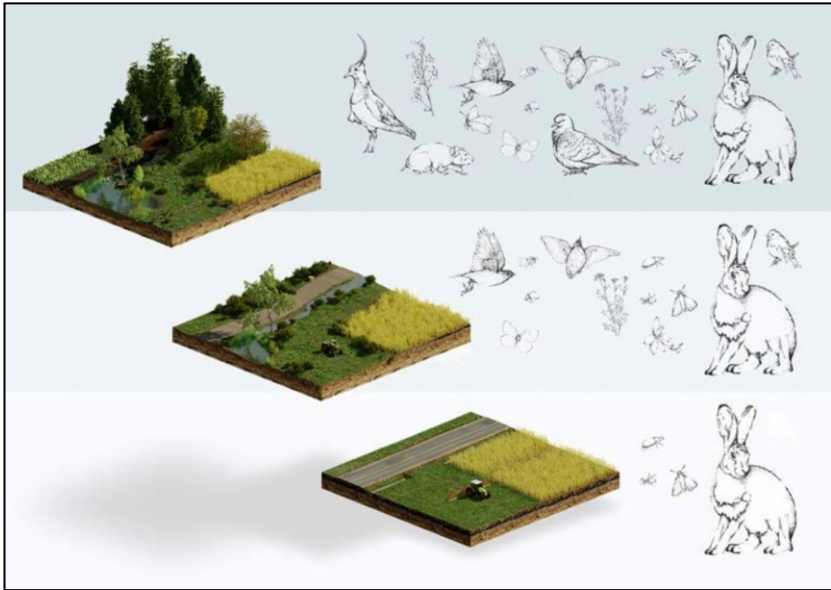
(Brutto-)Entwaldungsrate ist nur moderat von minus 158 Mio. Hektar (1990er Jahre) auf minus 110 Mio. Hektar (2010er Jahre) gesunken, was immer noch der 2-fachen Größe Spaniens entspricht. Da diese Rodungen v. a. tropische Wälder mit der weltweit höchsten Biodiversität betreffen, hilft es wenig, dass der globale Netto-Verlust an Waldfläche „nur“ minus 47 Millionen Hektar beträgt, da die in diese Größe eingerechneten Wieder-Aufforstungen oft Wald-Monokulturen mit eher geringer Biodiversität in Ländern der gemäßigten Zone sind (Ritchie 2024a).

Ebenfalls zum o. g. ersten Faktor „Zerstörung und Degradation von Lebensräumen durch Übernutzung“ gehört die intensive (Über-)nutzung von Agrarlandschaften zwecks Produktionssteigerung durch...

- a) ... Flurbereinigung, d. h. die Entfernung kleinteiliger Strukturelemente (z. B. Hecken, Gebüsch, Bäume, Steinhaufen, Geländestufen) zur Erleichterung und Rentabilitätssteigerung des großflächigen Einsatzes von Agrarmaschinen (Mechanisierung),
- b) ... den Übergang zu Reinkulturen (Anbau einer einzigen Pflanzenart auf größeren Flächen) bzw. Monokulturen (dies über mehrere Jahre hinweg, d. h. ohne zeitliche Varianz (Fruchtfolge))
- c) ... Intensivierung der Grünlandnutzung (z. B. Düngung, häufigeres Mähen, Anbau weniger Hohertragsgräser),
- d) ... die Entwässerung von Mooren/Feuchtwiesen, die einzigartige Lebensräume für seltene und oft besonders stark vom Aussterben bedrohte Tier- und Pflanzenarten bieten und eine hohe Artenvielfalt aufweisen (Leopoldina Nationale Akademie der Wissenschaften 2024, 9 + 37; WBNK 2025, 72)
- e) ... hohen Pestizideinsatz,
- f) ... starke Verwendung von Düngemitteln (mit den Makro-Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium).

Flurbereinigung (Abbildung 2) und Rein- bzw. Monokulturen führen zu einer Verarmung der Vielfalt von Lebensräumen und ihrer Pflanzenwelt und so zum Verlust oder zur Degeneration von Habitaten, auf die viele Tierarten z. B. als Nahrungsgrundlage, Refugium, Überwinterungsraum, Nistplatz oder zur Eiablage angewiesen sind. Dies mindert ihren Fortpflanzungserfolg ebenso wie die damit verbundene Habitat-Isolation und -Fragmentierung, die v. a. den gesunden genetischen Austausch zwischen verschiedenen Populationen weniger mobiler Arten beeinträchtigt (Härdtle 2024, 125; Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina u. a. 2020, 24; Feindt u.a. 2019, 27).

Die Intensivierung der Bewirtschaftung von vormals extensiv genutztem Grünland (natürliche Wiesen und Weiden mit hoher Pflanzenvielfalt) durch Aussaat weniger, schnell wachsender Hohertragsgräser, die deutlich häufiger gemäht werden, raubt v. a. vielen Insekten den Lebensraum.



**Abbildung 2:** Verlust von Biodiversität durch Flurbereinigung

Quelle: Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina u. a. (2020), <https://www.acatech.de/publikation/biodiversitaet-und-management-von-agrarlandschaften-umfassendes-handeln-ist-jetzt-wichtig/>

Rein- bzw. Monokulturen erhöhen zugleich die Anfälligkeit der Nutzpflanzen für Befall durch Schädlinge (Hurtig 2020, 258), da letztere sich dann auf erstere besser spezialisieren können und ihnen die Gegenspieler fehlen. Das wiederum befördert den landwirtschaftlichen Einsatz von Pestiziden, die die Artenvielfalt beeinträchtigen.

### 2.1.2.1 Pestizide als Ursache für den Rückgang der Biodiversität

Der Einsatz von Pestiziden, d. h. biologischer oder chemischer Stoffe gegen bestimmte Unkräuter (Herbizide), Insekten (Insektizide) und Pilzbefall (Fungizide), die den Ertrag von Agrarpflanzen senken, wirkt nicht spezifisch gegen Schädlinge, sondern hat laut umfassenden empirischen Studien eindeutig belegte „überwältigend negative Auswirkungen“ auf viele andere Arten von Pflanzen, Pilzen, Insekten, Fischen, Vögeln und Säugetieren (Feindt u. a. 2019, 27). Das zeigt auch jüngst wieder eine Meta-Analyse von 1700 Studien zu 471 Pestizidtypen (Wan u.a. 2025). Wie eine weitere empirische Untersuchung zu >1000 verschiedenen Pestiziden verdeutlicht, ist dies schon bei

sehr geringen Dosen der Fall, v. a. dann, wenn man übliche Kombinationen diverser Stoffe berücksichtigt (Gandara u. a. 2024). Eine Schädigung der Artenvielfalt erfolgt dabei nicht nur durch direkt tödliche Wirkungen, sondern zum einen auch durch sekundäre „Kaskadeneffekte“ (Rückgang von Vogelpopulationen als Folge sinkender Insektenzahlen) und zum anderen durch subletale Effekte, die z. B. bei Insekten zu Entwicklungs- und Verhaltensstörungen (z. B. gestörte räumliche Orientierung, Nahrungssuche und Bewegung), einer Schwächung des Immunsystems, geringerem Fortpflanzungserfolg usw. führen (Härdtle 2024, 127f.). Da viele Pestizide gut wasserlöslich sind, sind auch aquatische Arten negativ betroffen. Pestizide sind daher eine zentrale Ursache für die Abnahme der Artenvielfalt in Agrarlandschaften (Feindt u. a. 2019, 27). Gleichwohl dringen Pestizide aus der Landwirtschaft nachweislich auch in Naturschutzgebiete ein (Brühl u. a. 2021).

Der globale Pestizidgebrauch hat sich von durchschnittlich ca. 1,2 t pro Hektar (1990) auf ca. 2,4 t pro Hektar (2022) verdoppelt. Besonders stark stieg er von einem ohnehin überdurchschnittlich hohen Niveau in Südamerika auf über 5 t pro Hektar (2022). Eine ähnliche, wenngleich nicht ganz so extreme Zunahme zeigt sich in Nordamerika. In Europa hat sich der Einsatz von Pestiziden pro Hektar nur leicht erhöht und liegt etwas unter dem globalen Durchschnitt (FAO 2024; Ritchie u. a. 2022). Zugleich ist die Toxizität der Mittel gestiegen (Brunelle u. a. 2024, 2). Der Anstieg des globalen Pestizidgebrauchs kann überwiegend, aber nicht allein mit der Erhöhung der globalen Agrarproduktion im selben Zeitraum erklärt werden. Denn die Menge des globalen Pestizideinsatzes in t stieg um 5 % stärker an als die Zunahme des globalen agrarischen Produktionswerts in Dollar (FAO 2024). Der derzeitige Pestizideinsatz in t pro Produktionswert in Dollar entspricht in Europa dem globalen Durchschnitt (ebd.). Exakte Ländervergleiche sind jedoch schwierig, da die empirisch verfügbaren Daten den Pestizideinsatz nicht nach der sehr unterschiedlichen Toxizität verschiedener Stoffe gewichten.

### 2.1.2.2 Düngemittel als Ursache für den Rückgang der Biodiversität

Die intensive Düngung von Agrarpflanzen mit Stickstoff (N) in der industriellen Landwirtschaft führt ebenfalls zum Rückgang der Artenvielfalt und mittleren Individuenabundanz, wie empirische Metastudien belegen (Härdtle 2024, 168). Das wird auch im gemeinsamen Abschlussbericht der Zukunftskommission Landwirtschaft (2021, 49) eingeräumt, einem von der Bundesregierung 2020 eingesetzten Gremium mit diversen Vertreter\*innen aus Bauern-, Umwelt- und Agrarindustrieverbänden sowie der Wissenschaft. Pflanzen sind zwar elementar auf Stickstoff als nicht ersetzbaren Baustein von Chlorophyll und zur Umwandlung von Kohlendioxid aus der Luft im Rahmen der Photosynthese angewiesen (Hoppenhaus 2024, 26f.). Doch heute wird nur ein Teil des durch die Landwirtschaft eingebrachten Stickstoffs von

den Erntepflanzen aufgenommen; ein erheblicher Teil, den man als Stickstoff-Überschuss bezeichnet, reichert sich in der näheren oder fernerer Umwelt/Natur an. Global werden im Durchschnitt nur ca. 50 % des agrarisch eingesetzten Stickstoffs von den Erntepflanzen aufgenommen; die restlichen 50 % gelangen in die Umwelt und richten dort Schäden an (s. u.). Diese niedrige Stickstoffnutzungs-Effizienz ist bereits seit Dekaden zu beobachten (FAO 2021).

Überschreitet der Stickstoff-Eintrag bestimmte Schwellenwerte („critical loads“), werden Arten und ihre Ökosystemdienstleistungen zwangsläufig geschädigt. Die „critical loads“ variieren lebensraumspezifisch, liegen aber meist bei maximal 20kg N pro Hektar und Jahr. Diese Grenzwerte werden in Europa, Nordamerika und Asien oft überschritten (Härdtle 2024, 172). In der EU sind nicht nur, aber v. a. große Regionen im Nordwesten Deutschlands, der Po-Ebene, Dänemarks, im Nordosten Spaniens und der französischen Atlantikküste betroffen, in denen die Landwirtschaft, v. a. die Tierhaltung eine zentrale Rolle spielt. Dort werden die „critical loads“ laut der Europäischen Umweltagentur oft um mehr als 1200 Stickstoffäquivalente pro Hektar überschritten<sup>7</sup>.

Ein wichtiger Grund für diese schädlichen Effekte liegt darin, dass unterschiedliche Pflanzenarten zusätzliche anthropogene Stickstoffgaben in sehr unterschiedlichem Grad für Wachstum und Vermehrung verarbeiten können. Durch zusätzlichen Stickstoff verschieben sich daher Konkurrenzverhältnisse zwischen verschiedenen Pflanzenarten um Licht, Wasser u. ä., sodass stark auf Stickstoff reagierende Pflanzen (z. B. Brombeeren, Brennnesseln) andere Pflanzen (z. B. Blaubeeren, Sonnentau) verdrängen (z. B. überwuchern). Für die Artenvielfalt optimal ist eine mittlere Nährstoffprävalenz im Boden, die weder zu niedrig (Artenverluste durch Mangel an Nährstoffen) noch zu hoch (Artenverlust durch Dominanz stickstoffliebender Arten) ist. Daher sind Pflanzenarten, die gut an stickstoffärmere Böden angepasst sind, im Vergleich zu anderen Pflanzen in ihrer Existenz überdurchschnittlich stark gefährdet bzw. bedroht (Preger 2022, 147ff.). Auch hier wirken Kaskadeneffekte, da durch die Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse zwischen Pflanzen auch bestimmte Lebensraumtypen zunehmen, während andere (sog. magere Standorte) abnehmen bzw. verschwinden – z. B. zum Nachteil bestimmter Insekten (z. B. Wildbienen), die an letztere Biotope angepasst sind. Dieser Effekt betrifft nicht nur die direkte Umgebung von Agrarbetrieben, sondern auch entferntere Wälder, Wiesen und Moore, da der Stickstoff von Feldern per Wind/Staub auch dort hingelangt.

Zudem erhöhen übermäßige Dünger- bzw. Stickstoffeinträge das Biomasse-Verhältnis zwischen oberirdischem Spross und unterirdischen Wurzeln.

7 <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/eutrophication-caused-by-atmospheric-nitrogen/risk-of-eutrophication-measured>.

Die flacheren Wurzeln machen Bäume und Pflanzen sowohl weniger sturmresistent als auch anfälliger für die in Folge der globalen Erwärmung zunehmenden Hitzewellen, Dürren und Verdunstungsraten, da es wahrscheinlicher wird, dass der höhere Wasserverlust durch Transpiration über die Blätter die geringere Wasseraufnahmekapazität der flacheren Wurzeln übersteigt (Preger 2022; Härdtle 2024). Der Wasserstress erhöht wiederum die Anfälligkeit für Parasiten. All das trägt u. a. mit dazu bei, dass sich der Zustand der Wälder in Deutschland in den letzten Dekaden stetig verschlechtert hat – das langsame „Waldsterben“ hat nie wirklich aufgehört, nur stammen die dafür mitverantwortlichen Schadstoffe heute zum wachsenden Anteil aus der Landwirtschaft (Preger 2022). So hat sich in Deutschland der Anteil der Bäume mit deutlicher Kronenverlichtung von 18 % (1989) auf 36 % (2019) verdoppelt (BZL o. J.).

Ein weiterer Mechanismus, der negative Effekte hoher Dünger- bzw. Stickstoffintensität auf die Biodiversität erzeugt, wirkt durch Schädigung von Mykorrhiza-Pilzen im Boden (Grassberger 2020, 177ff.; Preger 2022, 154; Härdtle 2024, 174). Baum- und Pflanzen(wurzeln) leben im Boden in enger Symbiose mit Mykorrhiza-Pilzen, welche die Wurzeln umspinnen oder in diese eindringen. In dieser Austauschbeziehung erhalten Pilze von den Pflanzen Kohlenhydrate, wofür die Pilze den Pflanzen Nährstoffe wie z. B. Zink, Eisen, Phosphor, Stickstoff und Kupfer liefern, die sie mit sauren Verdauungsenzymen aus Holz, Mineralien und Gesteinen im Boden lösen, in ihren komplexen Netzwerken speichern und über weite Strecken transportieren (Hoppenhaus 2024, 221). Diverse Experimente und empirische Feldstudien zeigen, dass höhere Dünger- bzw. Stickstoffgaben die Entwicklung der Mykorrhiza-Pilze deutlich hemmen (Stadler-Kaulich 2021, 63). Deren Schädigung wird zudem durch den Einsatz von Fungiziden (s. o.) deutlich verstärkt (Blech/Rillig 2025, 238), da diese nicht nur gegen Schadpilze wirken (Grassberger 2020, 216).

Schließlich gibt es weitere negative Effekte intensiver agrarischer Düngung speziell auf die Biodiversität in Gewässern, die im Begriff der Eutrophierung gefasst werden. Eutrophierung bezeichnet die ökologisch schädliche Überversorgung von Gewässern und Meereszonen mit den Makro-Nährstoffen Stickstoff und v. a. Phosphor, die als von Nutzpflanzen nicht genutzte Überschüsse aus der Landwirtschaft (und Verkehr, Industrie und Kläranlagen) über Luft- und Wasserwege dort hingelangen. Die Nutzungseffizienz von Phosphor liegt im globalen Durchschnitt mit 44 % (Ritchie 2021) noch etwas niedriger als jene von Stickstoff (s. o.). Durch langjährige Überdüngung bis heute haben sich in den Böden sog. Phosphatpools gebildet, deren Umfang im Prinzip für 50 bis 60 Ernten reichen würde (Leinweber u. a. 2021, 125f.; Elser/Haygarth 2020: 75ff., 97ff.). Das Phosphat in diesen Pools wird von den Pflanzen jedoch kaum aufgenommen, weil die agrarindustrielle Bewirtschaftung einem dafür nötigen humusreichen, nicht verdichteten Bo-

den mit vitalem Mikrobiom (Bakterien, Mykorrhiza, Regenwürmer u. v. a.) oft mehr oder weniger abträglich ist. Besonders der Einsatz von Fungiziden (s. o.) schädigt dieses Mikrobiom, v. a. die Mykorrhizapilze, was deren Phosphortransport zu den Pflanzen stark stört. Das führt dazu, dass ein großer Teil der Phosphatdünger im Boden akkumulieren und langsam, aber sicher (durch Erosion, Drainage, Grundwasser) in die Umwelt abfließen und dort zu Eutrophierung führen. Das ist ein Beispiel dafür, wie eine ökologisch problematische Intervention (Pestizide) die nächste ökologisch schädliche Intervention (Phosphorüberdüngung und Eutrophierung) nach sich zieht:

„Fungizide schädigen die AM-Pilze [Mykorrhiza, T.H.], sodass diese ihre Aufgabe, Phosphor aus dem Boden aufzunehmen und an die Pflanze weiterzugeben, nicht mehr normal erledigen können. (...) Um diesen Mangel an Verfügbarkeit von Phosphor zu begegnen ..., wird in der landwirtschaftlichen Praxis zusätzlich Phosphor als Dünger in großen Mengen ausgebracht – und damit hat man das nächste Problem: ein Teil davon wird vom Regen in Flüsse, Seen und Teiche gespült, ... sodass sich Algen übermäßig ausbreiten.“ (Blech/Rillig 2025, 238f.)

Ebenso wie auf Stickstoff sind Pflanzen zwar auch auf Phosphor als nicht ersetzbare Voraussetzung für eine stabile DNA, wichtiger Bestandteil der Zellmembranen und Energiespeicher lebensnotwendig angewiesen (Hoppenhaus 2024, 27f.). Ein Nährstoff-Überschuss an Stickstoff und besonders an Phosphor stimuliert jedoch in Gewässern v. a. bei höheren Temperaturen (die durch die Globale Erwärmung befördert werden) ein übermäßiges Wachstum schwimmender einzelliger Algen und Cyanobakterien („Blualgen“). Zum einen rauben diese Algen anderen Wasserpflanzen das Licht, sodass viele von ihnen schlechter wachsen und ggf. absterben, wodurch viele Meerestiere Aufzucht- und Lebensräume verlieren. Zum anderen sinken die Algen irgendwann zu Boden, sterben ab und werden von Mikroorganismen zersetzt, was dem Wasser große Mengen Sauerstoff entzieht, auf den andere Lebewesen wie Fische, Seesterne u.ä. lebensnotwendig angewiesen sind. Das ist eine Ursache für die starken Bestandsrückgänge bei Amphibien (Feindt u. a. 2019, 28).

Durch diese Eutrophierung sind global mehrere sog. „tote Zonen“ mit extremen Sauerstoffmangel und Fischsterben entstanden. In den letzten 50 Jahren sind Gebiete mit Sauerstoffmangel weltweit um eine Fläche von der Größe der EU gewachsen; Zonen ohne jeden Sauerstoff haben sich vervierfacht (Hoppenhaus 2024, 148). Die größten „Todeszonen“ befinden sich in der Ostsee (84000 km<sup>2</sup>), Schwarzen Meer (40000 km<sup>2</sup>) und Golf von Mexiko (22000 km<sup>2</sup>) (UBA 2024b).

Zugleich produzieren die Mikroorganismen bei der Zersetzung der Algen das Treibhausgas Methan (s. u.), das die Globale Erwärmung anheizt. Laut Beaulieu u. a. (2019) entsprechen die durch Eutrophierung in einem „Business-as-usual“-Szenario künftig zu erwartenden, steigenden Methan-Emissionen hinsichtlich ihres Erwärmungseffekts ca. 18-33 % der jährlichen fossi-