



HOLISTIC RESOURCE MANAGEMENT FOR  
CLIMATE RESILIENCE OF FARMING

# Trainings-Handbuch ClimateFarming

2022-1-DE02-KA220-VET-000090163

Datum: November 2023; Version: Febr2024



Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.



# Inhalt

## Inhalt

Urheberschaft / Bemerkung zur Übersetzung.....	5
Lektion 1: Landwirtschaft in einem sich verändernden Klima.....	6
Ein sich veränderndes Klima .....	6
Planetarische Grenzen .....	7
Bodendegradation und die drei Rollen der Landwirtschaft beim Klimawandel.....	7
Temperatur und Wasserressourcen .....	9
Ernährungssicherheit und sich verändernde Märkte .....	10
Abhängigkeit von externen Einflüssen.....	10
Biodiversität, Schädlinge und Krankheiten .....	10
Tierschutz.....	11
Fazit.....	12
Ausblick: Anpassung an den Klimawandel! .....	12
Klimaschutz & Klimaanpassung .....	13
ZUSAMMENFASSUNG – Landwirtschaft in einem sich verändernden Klima .....	14
Referenzen.....	15
Lektion 2: Klimawandelmanagement .....	20
Kernkonzepte der Anpassung an den Klimawandel .....	20
Auswirkungen des Klimawandels.....	21
Risiko .....	22
Gefährdung (durch das Klima) .....	22
Exposition.....	22
Vulnerabilität .....	23
Anfälligkeit .....	23
Anpassungsfähigkeit .....	23
Anpassung.....	24
Resilienz .....	24
Robustheit.....	25
Übersetzung auf die Betriebsebene .....	26
Auswirkungen, Risiken und Gefährdungen des Klimawandels.....	26



Anpassung und Vulnerabilität.....	27
Anpassungsmanagement.....	27
Unsicherheit.....	28
Komplexität.....	29
Umgang mit Unsicherheit .....	31
Erfolgreiche Anpassung und Fehlanpassung .....	32
ZUSAMMENFASSUNG – Klimawandelmanagement.....	34
Referenzen.....	35
Lektion 3: Regenerative Landwirtschaft: Eine mögliche Lösung .....	38
Vorwort.....	38
Geschichte der regenerativen Landwirtschaft.....	39
Synthetische Inputs.....	44
Exkurs: Bodengesundheit .....	45
Eine kurze Geschichte der alternativen Landwirtschaft .....	45
Bio-Landwirtschaft.....	46
Agrarökologie.....	46
Permakultur .....	47
Konservierende Landwirtschaft.....	47
Ganzheitliches Management / Ganzheitliches Weidemanagement .....	48
Agroforstwirtschaft.....	49
Climate-smarte Landwirtschaft (oder klimaresiliente Landwirtschaft) .....	49
Carbon Farming.....	50
Exkurs: Organischer Kohlenstoff im Boden (SOC).....	52
Minderung und Dekarbonisierung.....	53
Stakeholder & Zertifizierungen.....	54
CO2 Zertifikate .....	55
Wissenschaftlicher Beweis.....	58
Zusammenfassung .....	60
ZUSAMMENFASSUNG- Regenerative Landwirtschaft.....	61
Referenzen.....	62
Lektion 4: Verbindung zwischen der Regenerativen Landwirtschaft und dem ClimateFarming-Zyklus .....	68
Ähnliche Ausgangspunkte.....	69
Ansprüche und Bedürfnisse .....	70
Verfolgung ähnlicher Ziele .....	71
Maßnahmen-Beispiele.....	71



Der ClimateFarming-Zyklus.....	73
Einige Gedanken zur Umsetzung .....	73
Referenzen.....	75
Extra: Theoretischer Hintergrund: Methoden und Grundlagen .....	76
Strategisches Management .....	76
Entscheidungsfindung unter Deep Uncertainty (DMDU) und dem Dynamic Adaptive Pathways Approach (DAPP).....	77
Zusätzliche Methode 1: TOWS-Analyse .....	78
Zusätzliche Methode 2: SWOT-Analyse und Notfallmaßnahmen .....	79
Zusätzliche Methode 3: Anpassungs-Tipping-Points und Opportunity-Tipping-Points (ATP und OTP) .....	80
ZUSAMMENFASSUNG – Theoretischer Hintergrund: Methoden und Grundlagen .....	81
Referenzen.....	83



Kofinanziert von der  
Europäischen Union



## Urheberschaft / Bemerkung zur Übersetzung

Dieses Handbuch wurde in enger Zusammenarbeit von Alena Holzknecht, Nils Tolle und Janos Wack verfasst. Wir danken auch Nora Laub und Laerke Daverkosen für ihre Beiträge zum ersten Kapitel. Darüber hinaus danken wir den Mitgliedern unseres externen Beirats für ihr Feedback und ihre Kommentare, die wir so gut wie möglich berücksichtigt haben.

Der Originaltext wurde in englischer Sprache erstellt. Da häufig aus englischen Quellen zitiert wird, wurden diese in englischer Sprache belassen. Wenn sie doch übersetzt wurden, wird dies als "Übersetzung: CI" gekennzeichnet. CI = CI International GmbH, Konsortiumspartner des ClimateFarming Projekts. Die Referenzlisten wurden nicht übersetzt.



# Lektion 1: Landwirtschaft in einem sich verändernden Klima

Alena Holzknecht<sup>1</sup>, Nora Laub<sup>1</sup>, Nils Tolle<sup>2</sup>, Janos Wack<sup>1</sup>

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Probleme und Herausforderungen dargestellt, mit denen die Landwirtschaft im Hinblick auf sich ändernde Klimabedingungen und andere Belastungen konfrontiert ist. Die komplexen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen dargestellten Fragestellungen müssen berücksichtigt werden und eine isolierte Behandlung wurde lediglich zur besseren Übersicht über die verschiedenen Themen gewählt.

Das Wissen über diese Herausforderungen und Zusammenhänge ist für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel relevant. Dies ist die Grundlage für ein umfassendes Problembewusstsein und eine daraus resultierende Lösungsorientierung. Für Berater ist es besonders wichtig, Landwirte für Probleme (auch solche Probleme, deren Auswirkungen noch in der Zukunft liegen) zu sensibilisieren. Dadurch kann der bestehende Handlungsbedarf aufgezeigt und eine gemeinsame Vereinbarung zur engagierten Entwicklung einer individuellen Anpassungsstrategie an den Klimawandel getroffen werden.

## Ein sich veränderndes Klima<sup>3</sup>

Der sechste Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC Sixth Assessment Report, AR6, 2023) stellt fest, dass die globale Erwärmung eindeutig durch menschliche Einflüsse verursacht wird (Abbildung 1, b) und dass der gegenwärtige Zustand der Klimasysteme zusammen mit dem Ausmaß der Veränderungen im Zeitraum 1850 – 2020 seit mehr als hunderttausend Jahren beispiellos sind (Abbildung 1, a). Es wurde beobachtet, dass die globale Erwärmung heute etwas über 1 °C im Vergleich zu 1850–1900 liegt und eine Erwärmung von 1,5 °C bzw. 2 °C im Vergleich zu 1850–1900 im 21. Jahrhundert voraussichtlich überschritten wird (ebd.). Ein Anstieg der globalen Temperaturen um 1,5 °C wird voraussichtlich die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen und Überschwemmungen in den meisten Regionen der Welt erhöhen. Andererseits ist mit einer Zunahme schwerer Dürren mit negativen Auswirkungen auf die Ernährungssicherheit und die Landökosysteme zu rechnen. Darüber hinaus trägt dies weltweit zur Wüstenbildung und Landdegradation bei, wodurch die Landflächen zusätzlich belastet werden und die bestehenden Risiken für Lebensgrundlagen, Biodiversität, die Gesundheit von Mensch und

<sup>1</sup> [kontakt@triebwerk-landwirtschaft.de](mailto:kontakt@triebwerk-landwirtschaft.de)

TRIEBWERK - Regenerative Land- und Agroforstwirtschaft UG  
Im Rothenbach 49, D-37290 Meißner  
<https://www.triebwerk-landwirtschaft.de/>

<sup>2</sup> [nils.tolle@neokultur.eu](mailto:nils.tolle@neokultur.eu)

Tolle | Beratung für Klimawandel und Landwirtschaft  
Richardsweg 1, 34379 Calden-Fürstenwald  
<https://neokultur.eu/>

<sup>3</sup> Dieser Abschnitt basiert auf einer Masterarbeit von Lark Daverkosen & Alena Holzknecht und zitiert diese teilweise direkt



Ökosystem sowie die Lebensmittelsysteme verschärft werden (IPCC-Sonderbericht zu Klimawandel und Land, SRCCL 2019).

## Planetarische Grenzen

Das Stockholm Resilience Centre hat neun planetarische Grenzen definiert, die, wenn sie den sicheren Handlungsspielraum überschreiten, das Leben auf der Erde stark negativ beeinflussen und somit auch schwerwiegende Auswirkungen auf die Landwirtschaft haben werden. Die größten Überschreitungen gab es im Jahr 2009, als die Bewertung zum ersten Mal durchgeführt wurde

- a) Verlust der biologischen Vielfalt,
- b) die Klimakrise und
- c) Stickstoff- und Phosphorkreisläufe.

Unter Bezugnahme auf Persson et al. (2022) gibt es für 2022 noch kritischere Entwicklungen. Diese sind

- d) Süßwasserverbrauch,
- e) Einbringung neuartiger Substanzen und
- f) Landnutzungsänderung (Meyfroidt et al. 2022),

sowie ein paar weitere. Im Süßwasserverbrauch wurde aufgrund der Einbeziehung von „grünem Wasser“ (terrestrischer Niederschlag, Verdunstung und Bodenfeuchte) die Grenze überschritten. Es gibt weitreichende Veränderungen der Bodenfeuchtigkeit und eine anhaltende Destabilisierung durch menschlichen Druck auf kontinentaler bis planetarischer Ebene. Sogenannte neuartige Substanzen sind im geologischen Sinne neu, was bedeutet, dass auch natürlich vorkommende Materialien vom Menschen erzeugt, eingebracht oder rezirkuliert und auf diese Weise mobilisiert werden – darunter Umweltschadstoffe, Kunststoffe, Pestizide oder ewige Chemikalien. Diese großräumigen Auswirkungen gefährden die Integrität der Prozesse im Erdsystem. Auf globaler Ebene sind daher seit vielen Jahren massive Herausforderungen wissenschaftlich dokumentiert. Diese sind Teil einer komplexen Wechselwirkung und haben umfassende Auswirkungen auf unsere Umwelt. Der Agrarsektor ist stark betroffen und wird in Zukunft noch stärker betroffen sein. Diese Probleme können wahrscheinlich nicht vollständig gelöst werden, so dass ein angemessener Umgang mit ihnen bei gleichzeitiger Minimierung ihrer Auswirkungen gefunden werden muss.

## Bodendegradation und die drei Rollen der Landwirtschaft beim Klimawandel

Der Boden ist gleichzeitig Quelle und Senke von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und spielt eine Schlüsselrolle im Klimasystem und beim Austausch von Treibhausgasen (THG) zwischen der Landoberfläche und der Atmosphäre (IPCC SRCCL 2019). Die Umwandlung natürlicher Ökosysteme in verwaltete Ökosysteme verwandelt das Land in eine Treibhausgasquelle und erschöpft den terrestrischen Kohlenstoffspeicher (Poeplau & Don 2015). So wurden Ökosysteme seit Beginn der Landwirtschaft vor etwa 10.000 Jahren zu Treibhausgasquellen umgewandelt (Lal et al. 2018). Eine Metastudie ergab, dass die Umwandlung von Wald und



Grünland in Ackerland zu einem Rückgang des organischen Kohlenstoffs (SOC) im Boden in den oberen Bodenschichten um 30–80% führt (Singh et al. 2018). Emissionen aus der Landwirtschaft und der Ausweitung der Agrarflächen machen 16 – 27% der gesamten anthropogenen Emissionen aus. Wenn Emissionen im Zusammenhang mit Vor- und Nachproduktionsaktivitäten im globalen Lebensmittelsystem einbezogen werden, werden die Emissionen auf 21 – 37% der gesamten anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen geschätzt. Es wird erwartet, dass die Emissionen aus dem Agrarsektor aufgrund des Bevölkerungs- und Einkommenswachstums sowie der durch den Klimawandel verursachten Bodendegradation zunehmen. Die Ausweitung land- und forstwirtschaftlicher Flächen hat den Konsum und die Nahrungsmittelverfügbarkeit einer wachsenden Bevölkerung gefördert, gleichzeitig aber auch zu steigenden Netto-Treibhausgasemissionen, dem Verlust natürlicher Ökosysteme und einem Rückgang der Artenvielfalt beigetragen. Positiv zu vermerken ist, dass die natürliche Reaktion der Landflächen auf vom Menschen verursachte Veränderungen zu einer Nettosenke von etwa 11,2 Gt CO<sub>2</sub> yr<sup>-1</sup> in den Jahren 2007 – 2016 führte, was 29% des gesamten CO<sub>2</sub> entspricht. Das Fortbestehen dieser Senke ist jedoch ungewiss (IPCC SRCCL 2019). Laut IPCC (2019) ist etwa ein Viertel der Landfläche einer vom Menschen verursachten Degradation ausgesetzt. Schlechte Managementpraktiken haben zu einer geringen Produktivität und einem erhöhten Risiko der Ernährungsunsicherheit geführt (Gupta 2019).

Der wahllose Einsatz nachteiliger landwirtschaftlicher Praktiken wie kontinuierliche Monokultur und intensive Bodenbearbeitung hat zu einer weit verbreiteten Land- und Bodendegradation beigetragen. Da die Wiederherstellung der Bodenqualität ein schwieriger Prozess ist, ist die weitere Verschlechterung vorhandener fruchtbarer Böden von großer Bedeutung. Beispielsweise verlieren viele Böden in Europa mehr als 2 t ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup> durch Bodenerosion. Dadurch besteht die Gefahr, dass der Boden nicht mehr in der Lage ist, Klimaänderungen wie Dürre und schwere und häufige Wetterereignisse zu bewältigen (Lal 2015).

Abgesehen davon, dass sie zum Klimawandel beiträgt, ist die Landwirtschaft selbst auch anfällig für die globale Erwärmung und die Zunahme extremer Wetterereignisse (IPCC 2019). Darüber hinaus steht die Landwirtschaft vor der Herausforderung einer erhöhten Nahrungsmittelnachfrage aufgrund des Bevölkerungs- und Einkommenswachstums (Olson et al. 2016; IPCC 2019). Laut Giller et al. (2021) umfassen die Lösungen für diese Herausforderung entweder eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion innerhalb oder außerhalb der aktuell bewirtschafteten Fläche. Die Ausweitung der Anbauflächen würde die Einbeziehung weniger produktiver Flächen mit sich bringen, die derzeit als Kohlenstoffsinken fungieren, und zum Verlust von Lebensräumen sowie zur Veränderung der biogeochemischen und hydrologischen Kreisläufe führen. Eine Lösung, die keine großen Landnutzungsänderungen erfordert, beruht auf einer verbesserten Landbewirtschaftung und einer konservierenden/wiederhergestellten Bodenfruchtbarkeit.

Die Fruchtbarkeit des Bodens hängt auch eng mit dem organischen Kohlenstoff im Boden zusammen, der das Potenzial hat, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Eine erhöhte Kohlenstoffspeicherung im Boden kann dazu beitragen, durch die Landwirtschaft verursachte



Kohlenstoffemissionen zu verhindern, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen und Ökosystemdienstleistungen bereitzustellen. Dies kann durch eine Kombination aus der Verbesserung von Ackerflächen erreicht werden, sodass eine Landumwandlung für die Nahrungsmittelproduktion und damit verbundene Kohlenstoffverluste aus Böden unnötig werden, sowie durch die aktive Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Flächen (Bossio et al. 2020).

Der Sonderbericht zu Klimawandel und Boden des IPCC (2019) unterstreicht, dass die Herausforderungen des nachhaltigen Land- und Klimawandels auf einer hohen Komplexität und einer hohen Vielfalt der beteiligten Akteure beruhen. Nachhaltiges Landnutzungsmanagement, Ernährungssicherheit und emissionsarme Wege werden durch Maßnahmen erleichtert, die Veränderungen im gesamten Lebensmittelsystem beinhalten. Dies könnte die Reduzierung von Lebensmittelverlusten und -verschwendung, eine Änderung des Ernährungsverhaltens sowie die Stärkung von Frauen und indigenen Völkern, die Unterstützung gemeinschaftlicher Maßnahmen, die Gewährleistung eines langfristigen Zugangs zu Märkten und Land sowie Beratungsdienste und Reformen der Handelssysteme umfassen. Alle genannten Aktivitäten müssen jedoch im Zusammenhang mit der bisherigen Landnutzung, Geografie, Durchführbarkeit sowie sozialen und ökologischen Umständen gesehen werden (Bossio et al. 2020).

### Temperatur und Wasserressourcen

Extreme Wettersituationen werden wahrscheinlich weltweit und in Europa zunehmen. Starke und intensive Regenfälle einerseits und Dürren andererseits dürften je nach der Menge der in die Atmosphäre freigesetzten Treibhausgase immer häufiger vorkommen. Dies führt zu einer Veränderung des Grundwasserspiegels und zum Verlust der Planungssicherheit. Die Durchschnittstemperatur ist im letzten Jahrhundert weltweit und in Europa gestiegen und wird voraussichtlich noch weiter ansteigen (IPCC 2021). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die spezifischen Auswirkungen des Klimawandels regional und zwischen den Jahren erheblich variieren werden (siehe erstes Kapitel zu Unsicherheiten). Dies ist die größte Herausforderung bei der Klimaanpassung. Es kann keine allgemeingültige Prognose und damit auch keine allgemeingültige Handlungsempfehlung gegeben werden, obwohl allgemeine langfristige Trends klar sind.

Die Landwirtschaft verbraucht weltweit etwa 70% des Süßwassers und in Europa je nach Jahreszeit bis zu mehr als 32% des Gesamtwassers (Cai und Rosegrant 2002; Lazarova 2017). Temperatur und Wasserressourcen sind immer kreislaufabhängige Parameter: Wenn die Bodenfeuchtigkeit abnimmt, nimmt auch die Evapotranspiration ab, was zu noch weniger Bodenfeuchtigkeit und einem Temperaturanstieg führt. Eine erhöhte Temperatur lässt daher die Verdunstung wieder sinken und eine verringerte Evapotranspiration erhöht die Temperatur (Seneviratne et al. 2010).



## Ernährungssicherheit und sich verändernde Märkte

Sieht man sich Modelle der Klimafolgen an, werden steigende Temperaturen und veränderte Niederschläge zu einem Rückgang der Nahrungsmittelproduktivität führen. Abhängig von den „Kulturarten und Nutztierkategorien werden sich die kurz- und langfristigen Anpassungsbemühungen jedoch unterscheiden“ (IPCC 2019) (Übersetzung: CI).

Nicht nur der Klimawandel, sondern auch die sozioökonomische Dynamik setzt die Landwirte unter Druck: Die Nachfrage nach gesunden, aber günstigen Produkten steigt parallel zur Flächenkonkurrenz mit Gebäuden/Baumaterialien, Energieträgern, Fasern etc. Darüber hinaus führen Regularien der EU z.B. in Bezug auf Pestizide oder Tierschutz zu höheren Produktions- und Arbeitskosten. Landwirte sind aber häufig von den Rohstoffen und Dienstleistungen abhängig, die Preisschwankungen unterliegen.

## Abhängigkeit von externen Einflüssen

In der Vergangenheit wurde die Bodenfruchtbarkeit durch die Zugabe von Düngemitteln verbessert, doch insbesondere in Europa kommt es heutzutage durch die Ausbringung von Düngemitteln und Mist zu einem Stickstoffüberschuss. Dieser Überschuss hat nicht nur negative Auswirkungen auf die Umwelt, sondern verursacht auch wirtschaftliche Nachteile. Viele landwirtschaftliche Betriebe sind von externen Einflüssen abhängig, wie Düngemittel und Treibstoff. Einerseits lässt sich der Nährstoffverlust leicht durch die Zugabe weiterer Nährstoffe in den Boden ausgleichen, andererseits entwickelt sich der Düngemittelmarkt nicht immer wie gewünscht und die Preise ändern sich unvorhersehbar. Zwischen 1960 und 2000 verdreifachte sich der N- und P-Düngemittelseinsatz (Tilman et al. 2002), während sich die Getreideproduktion weltweit verdoppelte. Darüber hinaus führen Nährstoffverluste zu hohen (Umwelt-)Kosten, z.B. durch schlechte Wasserqualität und Algenblüte. Daher ist es ratsam, die Nährstoffe auf dem Feld zu belassen. Der Klimawandel wird vielerorts in Europa zu Ertragseinbußen führen. Selbst die prognostizierten Ertragssteigerungen in Nordeuropa können diese Verluste nicht ausgleichen. Gleichzeitig hat sich die Effizienz der Nährstoffnutzung eingependelt, sodass es oft nicht einmal mehr sinnvoll ist, mehr Düngemittel einzusetzen (Lassaletta et al. 2014). Da landwirtschaftlich genutzte Böden jedoch häufig über Jahrzehnte hinweg degradiert wurden, kann eine angepasste Düngestrategie erst folgen, wenn die Bewirtschaftung einen Boden langsam wieder auf die Funktionsfähigkeit vorbereitet hat. Auch das Leistungsniveau von Nutztieren hängt von der Futterqualität und -zusammensetzung ab und kann nicht auf einmal verändert werden. Solche Anpassungen sind langfristige Prozesse und müssen entsprechend geplant und bewertet werden.

## Biodiversität, Schädlinge und Krankheiten

Parallel zum Klimawandel und größtenteils verursacht durch ihn erleiden Ökosysteme einen beispiellosen Verlust an Artenvielfalt. Es gibt starke Beweise dafür, dass wir auf dem Weg zu einem sechsten, vom Menschen verursachten Massenaussterben sind, während die ersten fünf Massenaussterben durch Naturphänomene verursacht wurden (Cowie et al. 2022). Beispielsweise sind in Deutschland zwischen 1990 und 2015 durchschnittlich 75% der Insektenbiomasse verloren gegangen (Hallmann et al. 2017). Mit steigenden



Durchschnittstemperaturen werden in der EU und weltweit noch mehr Verluste an Lebensraum prognostiziert (IPCC 2022). Dies kann die Stabilität und Widerstandsfähigkeit von Landschaften gegenüber äußeren Einflüssen, einschließlich neuer und/oder höherer Belastungen durch Schädlinge und Krankheiten, stark beeinträchtigen.

Es gibt zwei Hauptfaktoren, die Schädlinge und Krankheiten im Hinblick auf den Klimawandel so relevant machen:

1. Mit dem Klimawandel steigt die Anfälligkeit für Infektionen, ebenso wie die Regenerationsfähigkeit von Pflanzen, Tieren und ganzen Ökosystemen sinkt. Höhere abiotische Belastungen durch den Klimawandel machen Pflanzen anfälliger für biotische Stressfaktoren. Höhere Sonneneinstrahlung, unvorhersehbarer Hagel, Regenfälle, Frost oder Trockenperioden können Pflanzen schädigen und ihre Vitalität beeinträchtigen.
2. Der Druck bestehender Schädlinge und Krankheiten steigt aufgrund einer schnelleren Abfolge (z. B. mehr Generationen pro Saison), eines erhöhten Bevölkerungswachstums sowie des Auftretens neuer Schädlinge und Krankheiten und der Ausbreitung ihrer Gebiete.

Es lässt sich nicht eindeutig vorhersagen, welche Schädlinge und Krankheiten in welchem Ausmaß auftreten werden. Anstatt auf bevorstehende Bedrohungen zu reagieren, müssen umfassende und proaktive Präventionsmaßnahmen auf Ebene der Ökosysteme umgesetzt werden (siehe Kapitel über Unsicherheiten und Klimawandel). Die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen muss unterstützt und ausgebaut werden. Dies kann unter anderem durch die bewusste Nutzung ihrer Multifunktionalität erreicht werden.

## Tierschutz

Die Tierhaltung ist eng mit dem Nährstoffkreislauf verbunden, wird aber auch stark vom Klimawandel betroffen sein. Viehhaltungssysteme werden vom Klimawandel hauptsächlich durch steigende Temperaturen und Niederschlagsschwankungen sowie durch die Konzentration von atmosphärischem CO<sub>2</sub> und eine Kombination dieser Faktoren beeinflusst. Die Temperatur beeinflusst die meisten kritischen Faktoren der Tierproduktion, wie z. B. die Wasserverfügbarkeit, die Tierproduktion und -reproduktion sowie die Tiergesundheit (hauptsächlich durch Hitzestress). Die Komfortzonen für Schafe, Rinder und Schweine liegen bei oder unter 20 °C (Pollmann et al. 2005; Bianca 1971). Nutztierkrankheiten werden vor allem durch Temperaturerhöhungen und Niederschlagsschwankungen beeinflusst (Rojas-Downing et al. 2017). Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutztierproduktivität, insbesondere in gemischten und extensiven Systemen, stehen in engem Zusammenhang mit den Auswirkungen auf Weideland und Weiden, zu denen auch die Auswirkungen des zunehmenden CO<sub>2</sub>-Ausstoßes auf ihre Biomasse und Ernährungsqualität gehören. Dies ist angesichts der sehr großen betroffenen Gebiete und der Anzahl der betroffenen gefährdeten Menschen von entscheidender Bedeutung (Steinfeld 2010; Morton 2007). Qualität und Quantität der Weiden werden hauptsächlich durch Temperatur- und CO<sub>2</sub> Anstiege und Niederschlagsschwankungen beeinflusst. Dies kann sich negativ auf die Gesundheit und



Leistungsfähigkeit des Tieres auswirken. In den letzten Jahren kam es in Extremsituationen dazu, dass Tiere verkauft werden mussten, weil ihre Futtermittellieferung nicht mehr gewährleistet werden konnte. Die Anpassungsfähigkeit solcher Haltungs- und Fütterungssysteme wurde überbeansprucht, was zu einer Schockreaktion und der Notwendigkeit führte, die Strategie für die kommenden Jahre anzupassen. Durch umfassende Planung und Überwachung mit Fokus auf die Anpassung an klimatische Veränderungen können wir Systeme schaffen, die weniger anfällig für Umwelt-, aber auch wirtschaftliche oder gesellschaftliche Stressfaktoren sind.

## Fazit

Die Landwirtschaft ist wie kaum ein anderer Sektor vom Klimawandel betroffen. Im Kontext des Klimawandels spielt die Landwirtschaft unterschiedliche Rollen. Es ist ein Treibhausgasproduzent, kann als Treibhausgasenke fungieren und ist direkt und indirekt vom Klimawandel betroffen. Neben den sich ändernden klimatischen Bedingungen gibt es eine Vielzahl miteinander verbundener Themen, die die Landwirtschaft heutzutage erschweren. Natürliche Ressourcen können knapp und unvorhersehbar werden, Marktstrukturen verändern sich und Landwirte sind oft auf externe Ressourcen angewiesen oder an Investitionen gebunden. Die Wasserverfügbarkeit wird durch veränderte Niederschlagsmuster sowie durch Böden, die nicht in der Lage sind, Wasser zu versickern und zu speichern, erheblich beeinträchtigt. Gleichzeitig werden Gewässer durch Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen belastet. Auch befinden wir uns mitten in einer Biodiversitätskrise und neue Schädlinge und Krankheiten nehmen zu. Insgesamt ergeben sich daraus neue und unbekannte Herausforderungen für die Landwirtschaft als Branche, aber auch für jeden einzelnen Betrieb betreffen. Landwirtschaftliche Betriebe haben es also mit komplexen Systemen zu tun und sind in vielfältige Wechselwirkungen eingebunden, die durch den Klimawandel drastische Veränderungen erfahren. Um eine langfristige Ernährungssicherheit und eine gute Lebensgrundlage der Landwirte zu gewährleisten, müssen wir für jeden Betrieb in seinem individuellen Kontext anpassbare kurz-, mittel- und langfristige Strategien planen, um mit diesen dynamischen Veränderungen umzugehen.

## Ausblick: Anpassung an den Klimawandel!

Damit Landwirte diese komplexen Herausforderungen erkennen, einschätzen und meistern können, sind neue Ansätze und Methoden erforderlich – in der Betriebsführung und im Arbeitsalltag auf dem Feld. Diese Ansätze und Methoden müssen die Besonderheiten des einzelnen Betriebs berücksichtigen und die regionalspezifischen Auswirkungen des Klimawandels integrieren. Darüber hinaus müssen landwirtschaftliche Betriebe dabei unterstützt werden, Synergien zwischen verschiedenen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen zu nutzen und eine langfristige und weitsichtige Betriebsführung zu etablieren. Darüber hinaus müssen die Risiken, die sich aus den Unsicherheiten (im Zusammenhang mit dem Klimawandel) ergeben, in die betrieblichen Planungsprozesse einbezogen und so weit wie möglich minimiert werden. Was wir brauchen, ist nichts Geringeres als eine Klimastrategie – individuell für jedes Unternehmen erstellt. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass diese Klimastrategie auch den vielen anderen



Herausforderungen der Landwirtschaft gerecht wird. In diesem Zusammenhang ist der Erhalt der Artenvielfalt und gesunder Böden elementar. Nicht nur für eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel, sondern auch für den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen.

Auch bei fehlenden Rahmenbedingungen ist eine rechtzeitige und adäquate Umsetzung, eingebettet in regionale, nationale und europäische Strategien, für die Anpassung der Landwirtschaft an den jüngsten und prognostizierten Klimawandel erforderlich. Anpassungsmöglichkeiten müssen vorhanden sein, in ihrem lokalen Kontext machbar und wirksam sein. Biodiversität, Luft, Böden, Wasser- und Nährstoffkreisläufe sowie die Wiederherstellung von Ökosystemen müssen durch strukturelle Anpassungen wie produktive und widerstandsfähige Agrarökosysteme, von der Natur inspirierte Methoden oder ganzheitlich-systemische Ansätze verbessert werden.

Um Landwirte zur Umsetzung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen zu motivieren, müssen mögliche Maßnahmen praxistauglich sein und zum jeweiligen Betrieb passen.

### Klimaschutz & Klimaanpassung

In diesem Projekt verwenden wir die Begriffe **Minderung des Klimawandels** und **Klimaschutz** synonym.

Sie beschreiben Maßnahmen zur Minderung des weiteren Klimawandels durch Reduzierung der Treibhausgasemissionen (und zur Verbesserung von Senken).

**Klimaanpassung** bezieht sich auf die Maßnahmen, die ergriffen werden, um sich an die Auswirkungen des tatsächlichen und erwarteten Klimawandels anzupassen. Dies kann auf vielen Ebenen erfolgen, z.B. durch Hochwasserschutz, dürreresistente Pflanzen oder staatliche Maßnahmen, die zur Bewältigung der Klimaauswirkungen beitragen.

**„Anpassung und Minderung sind komplementäre Strategien zur Reduzierung und Bewältigung der Risiken des Klimawandels (IPCC AR6, 2023)“.** (Übersetzung: CI)

Trotz überwältigender Belege ist der Umsetzungsgrad von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen gering (Jacobs et al., 2019). Ein Grund dafür ist die Unsicherheit, die vor allem aus der Komplexität der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Klimawandel entsteht. Ungewiss ist nicht nur die Entwicklung des Klimawandels selbst hinsichtlich der Intensität und Geschwindigkeit des Wandels (Pachauri et al., 2014), sondern auch, wie sich diese Entwicklungen auf bestimmte Regionen auswirken und mit anderen ökologischen und sozialen Faktoren interagieren. Diese grundsätzliche Unsicherheit über zukünftige klimatische Bedingungen und deren Folgen hemmt die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen (Mitter et al., 2019). Darüber hinaus kann das Ignorieren von Unsicherheit und Komplexität dazu führen, dass Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden, die sich als Fehlanpassungen erweisen – je nachdem, wie sich der Klimawandel entwickelt (Noble et al., 2014).



Dieses Thema ist noch nicht ausreichend in die Gestaltung von (betrieblichen) Anpassungsmaßnahmen integriert. Dies spiegelt sich in der anhaltenden Fokussierung auf kleinteilige Einzelmaßnahmen wider (Vermeulen et al., 2018), bei denen es sich überwiegend um geringfügige und reaktive Änderungen betrieblicher Produktionsprozesse handelt (Mitter et al., 2018). Diese basieren oft auf den Erfahrungen vergangener Ereignisse. Dieses Maß an Anpassungsmaßnahmen könnte sich als unzureichend erweisen, da der Klimawandel in Kombination mit anderen neuen Entwicklungen Herausforderungen außerhalb der bisherigen Erfahrungen schaffen wird (Noble et al., 2014). Insbesondere angesichts eines starken und uneinheitlichen Verlaufs des Klimawandels muss die Anpassung proaktiv (d. h. präventiv) geplant und umgesetzt werden (z. B. Vermeulen et al., 2013). Dazu gehört die Umsetzung tiefgreifender Veränderungen in Betriebsabläufen und Produktionsmethoden (Park et al., 2012) – die sogenannte transformative Anpassung.

Es ist jedoch wichtig, dass die Planung von Klimamaßnahmen betriebspezifisch erfolgt, da sich der Klimawandel und die Anfälligkeit des einzelnen Betriebs dynamisch und regional entwickeln (Noble et al., 2014; Shukla et al., 2019). Da der Betrieb der entscheidende Punkt ist, an dem Klimaschutz und Klimaanpassung umgesetzt werden, müssen die entsprechenden Maßnahmen und Strategien zu den Zielen des Betriebs sowie seinen ökonomischen, ökologischen und sozialen Merkmalen passen (Reidsma et al., 2010; Bloch et al., 2014; Stringer et al., 2020).

### ZUSAMMENFASSUNG – Landwirtschaft in einem sich verändernden Klima

- Die Landwirtschaft spielt im Kontext des Klimawandels unterschiedliche Rollen – als Treibhausgasemittent, als potenzielle Treibhausgasenke und als Betroffener.
- Die globale Erwärmung liegt heute bei über 1 °C und wird im Laufe des 21. Jahrhunderts voraussichtlich um weit über 1,5 °C ansteigen.
- Der wahllose Einsatz nachteiliger landwirtschaftlicher Praktiken wie kontinuierliche Monokultur und intensive Bodenbearbeitung hat zu einer weit verbreiteten Bodendegradation beigetragen.
- Die anhaltende Bodendegradation birgt die Gefahr, dass der Boden nicht mehr in der Lage ist, klimatische Störungen wie Dürre und schwere und häufige Wetterereignisse zu bewältigen.
- Extreme Wettersituationen wie längere Dürre- oder Hitzeperioden oder starke Niederschlagsereignisse werden mit dem Klimawandel zunehmen.
- Viele landwirtschaftliche Betriebe sind in der Abhängigkeit von externen Einflüssen wie Düngemitteln und Treibstoff gefangen. Landwirtschaftliche Böden



sind oft über Jahrzehnte hinweg degradiert worden, eine angepasste Düngestrategie kann erst erfolgen, wenn die Bewirtschaftung einen Boden langsam wieder auf seine Funktionsfähigkeit vorbereitet hat.

- Tierschutzfragen werden durch den Klimawandel verschärft.
- Landwirte stehen unter großem Druck, genügend gesunde Lebensmittel für alle zu produzieren und gleichzeitig gesunde Ökosysteme zu erhalten, da sie Marktanforderungen, Landnutzungskonflikten und sich ändernden Umweltbedingungen ausgesetzt sind.

## Referenzen

Al-Kaisi, M.M. & Lal, R. (2020). Aligning science and policy of regenerative agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 84 (6), pp. 1808–1820 John Wiley and Sons Inc. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20162>

Bloch, R., Bachinger, J., Fohrmann, R., and Pfriem, R. (2014). Land-und Ernährungswirtschaft im Klimawandel: Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen.

Bianca W (1971): Die Anpassung des Haustieres an seine klimatische Umgebung. *Schweiz Landwirtsch Forsch*, 10:155–205. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302299049>

Bossio, D.A., Cook-Patton, S.C., Ellis, P.W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., Wood, S., Zomer, R.J., von Unger, M., Emmer, I.M. & Griscom, B.W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, vol. 3 (5), pp. 391–398. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>

Cai, X. & Rosegrant, M. W. (2002). Global Water Demand and Supply Projections: Part 1. A Modelling Approach. *Water International*, 27(2), Artikel 2, 159–169. <https://doi.org/10.1080/02508060208686989>

Cowie, R. H., Bouchet, P. & Fontaine, B. (2022). The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 97(2), 640–663. <https://doi.org/10.1111/brv.12816>

Daverkosen, L., Holzknecht, A. (2021): Relating the impacts of regenerative farming practices to soil health and carbon sequestration on Gotland, Sweden, Master Thesis at Department of Soil and Environment, Swedish Agricultural University, Available at: [https://stud.epsilon.slu.se/17330/1/daverkosen\\_l\\_211020.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/17330/1/daverkosen_l_211020.pdf)



Daverkosen, L., Holzknecht, A., Friedel, J. K., Keller, T., Strobel, B. W., Wendeberg, A., & Jordan, S. (2022). The potential of regenerative agriculture to improve soil health on Gotland, Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185, 901–914.  
<https://doi.org/10.1002/jpln.202200200>

European Commission. EU SOIL OBSERVATORY: EUSO Soil Health Dashboard.  
<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>

Giller, K.E., Hijbeek, R., Andersson, J.A. & Sumberg, J. (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*, vol. 50 (1), pp. 13–25

Gupta, G.S. (2019). Land Degradation and Challenges of Food Security. *Review of European Studies*, vol. 11 (1), p. 63

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D. & Kroon, H. de (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*, 12(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

IPCC. Food Security - Special Report on Climate Change and Land: Chapter 5.  
<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/>

IPCC (2019). Summary for Policymakers — Special Report on Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers>

IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>

IPCC (2023): *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf)

Jacobs, C., Berglund, M., Kurnik, B., Dworak, T., Marras, S., Mereu, V., and Michetti, M. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe*. Technical report, European Environment Agency (EEA).

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7 (5), pp. 5875–5895

Lal, R., Smith, P., Jungkunst, H.F., Mitsch, W.J., Lehmann, J., Ramachandran Nair, P.K., McBratney, A.B., De Moraes Sá, J.C., Schneider, J., Zinn, Y.L., Skorupa, A.L.A., Zhang, H.L., Minasny, B., Srinivasrao, C. & Ravindranath, N.H. (2018). The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 73 (6), pp. 145A-152A

Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J. & Garnier, J. (2014). 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105011.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105011>

Lazarova, V. Water Reuse in Europe, Status and Recent Trends in Policy Development. In Proceedings of the Final Conference on the Project LIFE+ ReQpro, Reggio Emilia, Italy, 23 February 2017; Available online:  
[http://reqpro.crpa.it/media/documents/reqpro\\_www/eventi/20170223\\_FinalMeeting\\_RE/Lazarova\\_LIFE+ReQpro.pdf](http://reqpro.crpa.it/media/documents/reqpro_www/eventi/20170223_FinalMeeting_RE/Lazarova_LIFE+ReQpro.pdf) (accessed on 5 May 2023)

Meyfroidt, P., Bremond, A. de, Ryan, C. M., Archer, E., Aspinall, R., Chhabra, A., Camara, G., Corbera, E., DeFries, R., Díaz, S., Dong, J., Ellis, E. C., Erb, K.H., Fisher, J. A., Garrett, R. D., Golubiewski, N. E., Grau, H. R., Grove, J. M., Haberl, H., . . . Ermgassen, E. K. H. J. zu (2022). Ten facts about land systems for sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(7). <https://doi.org/10.1073/pnas.2109217118>

Mitter, H., Schönhart, M., Larcher, M., and Schmid, E. (2018). The stimuli-action-effects-responses (saer)-framework for exploring perceived relationships between private and public climate change adaptation in agriculture. *Journal of environmental management*, 209:286–300.

Mitter, H., Larcher, M., Schönhart, M., Stöttinger, M., and Schmid, E. (2019). Exploring farmers' climate change perceptions and adaptation intentions: Empirical evidence from Austria. *Environmental management*, 63(6):804–821.

Morton, J.F. (2007): The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. 104 (50), PNAS. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701855104>

Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., and Villamizar, A. (2014). Adaptation needs and options. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 833–868. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Olson, K.R., Al-Kaisi, M., Lal, R. & Cihacek, L. (2016). Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 71 (3), pp. 61A-67A

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R.,

Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., et al. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

Park, S. E., Marshall, N. A., Jakku, E., Dowd, A. M., Howden, S. M., Mendham, E., and Fleming, A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22(1):115–126.

Linn Persson, Bethanie M. Carney Almroth, Christopher D. Collins, Sarah Cornell, Cynthia A. de Wit, Miriam L. Diamond, Peter Fantke, Martin Hassellöv, Matthew MacLeod, Morten W. Ryberg, Peter Sjøgaard Jørgensen, Patricia Villarrubia-Gómez, Zhanyun Wang, and Michael Zwicky Hauschild (2022): Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology* 2022 56 (3), 1510-1521  
DOI: 10.1021/acs.est.1c04158

Poeplau, C. & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 200, pp. 33–41 Elsevier B.V. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. O., and Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in european agriculture: the importance of farm level responses. *European journal of agronomy*, 32(1):91–102.

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T., Woznicki, S. A. (2017); Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation, *Climate Risk Management*, Volume 16, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>.

Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B., & Teuling, A.J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99, 125-161.

Shukla, P., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H., Roberts, D., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., Van Diemen, R., et al. (2019). IPCC, 2019: Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

Singh, B.P., Setia, R., Wiesmeier, M. & Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural management practices and soil organic carbon storage. *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling* Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00007-X>

Steinfeld, H., Gerber, P. (2010): Livestock production and the global environment: Consume less or produce better? 107 (43), PNAS. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012541107>

Stringer, L. C., Fraser, E. D., Harris, D., Lyon, C., Pereira, L., Ward, C. F., and



Simelton, E. (2020). Adaptation and development pathways for different types of farmers. *Environmental Science & Policy*, 104:174–189.

Stockholm Resilience Centre. (2023, 2. Juni). Planetary boundaries. Stockholm University.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677.  
<https://doi.org/10.1038/nature01014>

Vermeulen, S. J., Challinor, A. J., Thornton, P. K., Campbell, B. M., Eriyagama, N., Vervoort, J. M., Kinyangi, J., Jarvis, A., Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., et al. (2013). Addressing uncertainty in adaptation planning for agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21):8357–8362.

Vermeulen, S. J., Dinesh, D., Howden, S. M., Cramer, L., and Thornton, P. K. (2018). Transformation in practice: a review of empirical cases of transformational adaptation in agriculture under climate change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2:65.



## Lektion 2: Klimawandelmanagement

Nils Tolle, Alena Holzknacht, Janos Wack

Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, dem Klimawandel und seinen Auswirkungen zu begegnen: Klimaschutz und Klimaanpassung. Klimaschutz, im Kontext dieses Handbuchs, beinhaltet die Reduzierung und Speicherung (negative Emissionen) von Treibhausgasemissionen (THG). Bei der zweiten Option, der Klimaanpassung, geht es darum, ein System und seine Umgebung so zu verändern, dass es weniger empfindlich auf tatsächliche oder prognostizierte Klimaänderungen reagiert. Diese beiden Ansätze wurden weitgehend unabhängig voneinander betrachtet und erforscht, mit einer Tendenz zur Priorisierung des Klimaschutzes (Füssel und Klein, 2006). Dies ist irreführend, da beide Ansätze stark miteinander verknüpft sind und – um erfolgreich zu sein – gemeinsam gedacht, geplant und umgesetzt werden müssen (Wreford et al., 2010).

Da der Klimawandel als Folge vergangener Emissionen bereits stattfindet, ist es nicht mehr möglich, die Folgen allein durch Klimaschutz abzufedern. Aus diesem Grund ist und bleibt eine Anpassung an die unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels notwendig. Allerdings wäre es ebenso fatal, die Klimaanpassung allein voranzutreiben. Dies ist der Fall, weil:

- der Anpassung Grenzen gesetzt sind, die durch biophysikalische und sozioökonomische Faktoren sowie das Risiko von Kipppunkten bestimmt werden.
- Klimaschutz die Intensität und Geschwindigkeit des Klimawandels verringert, und so die Anpassung erleichtert und die Kosten der Anpassung senkt (Hallegatte, 2009).

Dementsprechend sollte die Anpassung an den Klimawandel den gleichen Stellenwert haben wie der Klimaschutz in der Landwirtschaft und dies nicht nur aufgrund der Nutzung möglicher Synergieeffekte, sondern auch in Bezug auf die unterschiedlichen Erfolgsbedingungen von Klimaschutz im Vergleich zur Klimaanpassung. Der Erfolg des Klimaschutzes, insbesondere als Einzelmaßnahme, ist nicht direkt greifbar und letztlich vom Verhalten anderer Akteure auf globaler Ebene abhängig. Im Gegensatz dazu ist die Anpassung räumlich spezifisch und kann lokal erfolgreich sein, auch wenn sich nur der einzelne Betrieb an der Klimaanpassung beteiligt. Dies hat eine wichtige psychologische Komponente. Denn Anpassung kann das Bedürfnis nach konkreter und spürbarer (positiver) Veränderung befriedigen. Dies ist relevant, da das Erleben der Selbstwirksamkeit ein wichtiger Faktor ist, der die Umsetzung weiterer Klimamaßnahmen fördert. Da eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel sowohl in der Theorie als auch in der praktischen Umsetzung komplexer ist als der Klimaschutz, konzentrieren sich die folgenden Ausführungen stärker auf das Thema Anpassung.

### Kernkonzepte der Anpassung an den Klimawandel

Es gibt viele unterschiedliche Ansätze und Konzepte zur Klimaanpassung. Diese sind für unterschiedliche Organisationsebenen (regional, national, global) und Anwendungsbereiche (z. B. Governance, Unternehmensführung etc.) konzipiert. Viele dieser Konzepte sind für die

Betriebsebene nur bedingt geeignet, da Anpassungsplanung (bislang) ein Thema höherer Organisationsebenen ist. Dennoch werden die wichtigsten Konzepte hier kurz besprochen und für die weitere Verwendung im ClimateFarming-Material definiert. Dementsprechend ist darauf hinzuweisen, dass hier keine umfassende Darstellung der Konzepte gegeben werden kann, sondern lediglich kurze Definitionen und eine Operationalisierung im Kontext der ClimateFarming-Materialien.

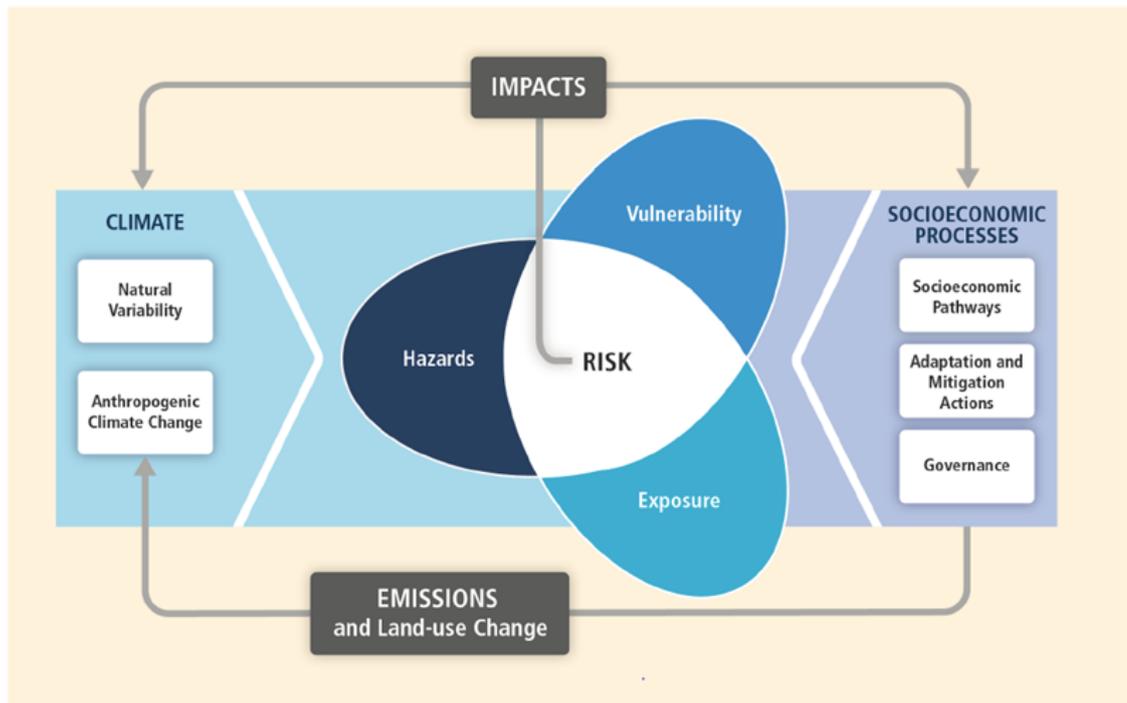


Abbildung 1: Schlüsselkonzepte der Anpassung an den Klimawandel – IPCC (2014)

### Auswirkungen des Klimawandels<sup>4</sup>

Es gibt Auswirkungen als Folge extremer Ereignisse (z. B. Starkregen) oder klimatischer Veränderungen (z. B. Anstieg der Durchschnittstemperatur) auf natürliche oder menschliche Systeme. In sozioökonomischen Systemen können diese Auswirkungen direkt oder indirekt auftreten. Wichtig bei der Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels ist die Frage nach der Schwere der Auswirkungen sowie der zeitlichen und räumlichen Dimension.



Ein Beispiel für indirekte Auswirkungen des Klimawandels wären höhere Importpreise für Futtermittel aufgrund schlechter Ernten in den Exportländern.

<sup>4</sup> Im ClimateFarming-Material wird üblicherweise nur der Begriff Klimaauswirkungen verwendet, ohne weiter zwischen Risiko, Gefahr und Auswirkung zu unterscheiden.



- Ein Beispiel für direkte Auswirkungen des Klimawandels ist eine Verschiebung der Jahrestemperaturen und die damit verbundenen Veränderungen im Muster des Pflanzenwachstums.

### Risiko

„Risiko ist definiert als das Potenzial für nachteilige Folgen für menschliche oder ökologische Systeme unter Berücksichtigung der Vielfalt der mit diesen Systemen verbundenen Werte und Ziele“ (IPCC, 2022). (Übersetzung: CI)

Der Risikobegriff ist in den verschiedenen IPCC-Arbeitsgruppen Ausgangspunkt für alle Fragen rund um die komplexen Folgen des Klimawandels und wie diese bewältigt werden können. Risiken entstehen durch die „dynamischen Wechselwirkungen zwischen klimabedingten Gefahren, Exposition und Vulnerabilität betroffener menschlicher und ökologischer Systeme“ (IPCC, 2022). (Übersetzung: CI)

Risiken im Zusammenhang mit dem Klimawandel lassen sich oft nicht genau vorhersagen und es lässt sich auch keine verlässliche Wahrscheinlichkeit berechnen. Dadurch entsteht Unsicherheit, die insbesondere die Planung von Anpassungsmaßnahmen erschwert.

### Gefährdung (durch das Klima)

„Gefährdung ist definiert als das potenzielle Auftreten eines natürlichen oder vom Menschen verursachten physischen Ereignisses oder Trends, das zum Verlust von Menschenleben, Verletzungen oder anderen gesundheitlichen Auswirkungen sowie zu Schäden und Verlusten an Eigentum, Infrastruktur, Lebensgrundlagen, Dienstleistungen, Ökosystemen und der Umwelt führen kann.“ (IPCC, 2022). (Übersetzung: CI)

Vereinfacht ausgedrückt umfassen Gefährdungen alle klimabedingten Folgen, die sich negativ auf natürliche oder menschliche Systeme auswirken können.



Beispiel für einen Zusammenhang zwischen Gefährdung durch das Klima und möglichen Auswirkungen des Klimawandels: Anstieg des Meeresspiegels (Gefährdung durch das Klima) und damit verbundene Schäden an Küstenstädten (Risiko/mögliche Auswirkungen des Klimawandels) oder eine steigende Zahl hitzebedingter Todesfälle (Risiko/mögliche Auswirkungen des Klimawandels) infolge häufiger und extremer Hitzewellen (Gefährdung).

### Exposition

„Exposition ist definiert als die Anwesenheit von Menschen, Lebensgrundlagen, Arten oder Ökosystemen, Umweltfunktionen, Dienstleistungen und Ressourcen, Infrastruktur oder wirtschaftlichen, sozialen oder kulturellen Werten an Orten und in Umgebungen, die negativ beeinflusst werden könnten.“ (IPCC, 2022). (Übersetzung: CI)



Exposition ist ein räumlicher Faktor. Als Frage formuliert lässt sich die Exponierung wie folgt zusammenfassen: „Befindet sich ein System (z. B. ein landwirtschaftlicher Betrieb) an einem Ort, an dem bestimmte Gefahren auftreten können?“



Beispiele für die Exposition: Küstengebiete, in denen die Bewohner direkt dem Anstieg des Meeresspiegels ausgesetzt sind, oder die Sahelzone, in der Landwirte selbst in der Vegetationsperiode immer stärkeren Dürren ausgesetzt sind.

### Vulnerabilität<sup>5</sup>

„Vulnerabilität ist [...] definiert als die Neigung oder Veranlagung, nachteilig beeinflusst zu werden, und umfasst eine Vielzahl von Konzepten und Elementen, einschließlich [...] Vulnerabilität (Sensibilität) gegenüber Schaden und mangelnder Fähigkeit, damit umzugehen und sich anzupassen (Anpassungsfähigkeit).“ (IPCC, 2022). (Übersetzung: CI) Es ist wichtig zu bedenken, dass sich die Vulnerabilität dynamisch entwickelt und zwischen verschiedenen Gesellschaften, Regionen, Ländern und Weltregionen große Unterschiede aufweist. Wenn ein Betrieb anfällig für Trockenperioden ist und sich in einem Gebiet befindet, in dem er zunehmenden Trockenperioden ausgesetzt ist, besteht für diesen Betrieb ein hohes Risiko, dass er aufgrund des Klimawandels Ertragseinbußen erleidet.

### Anfälligkeit

Anfälligkeit ist „Der Grad, in dem ein System oder eine Art durch Klimaschwankungen oder -veränderungen negativ oder positiv beeinflusst wird. Die Auswirkung kann direkt (z. B. eine Änderung des Ernteertrags als Reaktion auf eine Änderung des Mittelwerts, des Bereichs oder der Temperaturvariabilität) oder indirekt (z. B. Schäden durch eine Zunahme der Häufigkeit von Überschwemmungen aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels) sein.“ (IPCC, 2014b) (Übersetzung: CI)



Beispiel Anfälligkeit: Ein Milchviehbetrieb mit klimatisierten Ställen ist weniger anfällig für Hitzewellen.

### Anpassungsfähigkeit

Anpassungsfähigkeit ist „Die Fähigkeit von Systemen, Institutionen, Menschen und anderen Organismen, sich auf potenzielle Schäden einzustellen, Chancen zu nutzen oder auf Konsequenzen zu reagieren.“ (IPCC, 2014b) (Übersetzung: CI)



<sup>5</sup> Im ClimateFarming-Material wird grundsätzlich nur der Begriff Vulnerabilität verwendet und es wird nicht weiter zwischen Sensitivität und Anpassungsfähigkeit differenziert. Dies soll die Anwendung des Materials erleichtern.



Beispiel Anpassungsfähigkeit: Wenn ein Milchviehbetrieb noch keine Klimatisierung in den Ställen installiert hat, aber über das Problembewusstsein und die technischen und finanziellen Mittel verfügt, kann die Anpassungsfähigkeit des Betriebes positiv bewertet werden.

### Anpassung

*"Anpassung spielt eine Schlüsselrolle bei der Verringerung der Exposition und Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel.*

*Anpassung in Ökosystemen beinhaltet autonome Anpassungen durch ökologische und evolutionäre Prozesse. In menschlichen Systemen kann die Anpassung vorausschauend oder reaktiv sowie inkrementell und/oder transformativ erfolgen. Letzteres verändert die grundlegenden Eigenschaften eines sozioökologischen Systems im Vorgriff auf den Klimawandel und seine Folgen. [...]" (IPCC, 2022).* (Übersetzung: CI)

*Anpassung ist „In menschlichen Systemen der Prozess der Anpassung an das tatsächliche oder erwartete Klima und seine Auswirkungen, um Schäden zu mildern oder positive Chancen zu nutzen.“ In menschlichen Systemen kann die Anpassung sowohl vorausschauend oder reaktiv als auch schrittweise und/oder transformativ sein. Letzteres verändert die grundlegenden Merkmale eines sozio-ökologischen Systems in Erwartung des Klimawandels und seiner Folgen.“ (IPCC, 2018) (Übersetzung: CI)*

### Resilienz<sup>6</sup>

„Resilienz ist [...] definiert als die Fähigkeit sozialer und wirtschaftlicher Systeme sowie von Ökosystemen, mit gefährlichen Ereignissen, Trends oder Störungen fertig zu werden, indem sie so reagieren oder sich organisieren, dass ihre wesentlichen Funktionen, ihre Identität und ihre Struktur und - im Falle von Ökosystemen - ihre biologische Vielfalt erhalten bleiben, während sie gleichzeitig die Fähigkeit zur Anpassung, zum Lernen und zur Transformation behalten. Resilienz ist ein positives Merkmal, wenn diese Fähigkeit zur Anpassung, zum Lernen und/oder zur Transformation erhalten bleibt.“

Resilienz wird oft einfach als die Fähigkeit eines Systems beschrieben, nach einem Schock schnell in seinen früheren Zustand (vor dem Schock) zurückzukehren (Wiederherstellung). Diese Art der Resilienz reicht jedoch nicht aus, um den Herausforderungen des Klimawandels zu begegnen, da das System nicht verändert wird und somit die Anfälligkeit gegenüber einem neuen Schock gleich bleibt. Das IPCC nutzt den Resilienzansatz der „kreativen Transformation“ (Joakim et al., 2015). Das bedeutet, dass es nach einem Schock nicht darum geht, das alte System eins zu eins wiederherzustellen, sondern aus den Erfahrungen zu lernen und das betroffene System so umzuwandeln, dass eine höhere Widerstandsfähigkeit erreicht

<sup>6</sup> Im ClimateFarming-Material wird meist nur der Begriff Resilienz verwendet. Der Begriff Resilienz ist definiert als die Fähigkeit eines Betriebs, über ein Spektrum verschiedener Veränderungen und Störungen hinweg funktionsfähig zu bleiben und Betriebsziele zu erreichen, einschließlich der Fähigkeit, sich nach Schocks oder als Reaktion auf neues Wissen anzupassen und zu transformieren.



wird und diese dadurch weniger wird insgesamt anfällig für Erschütterungen.

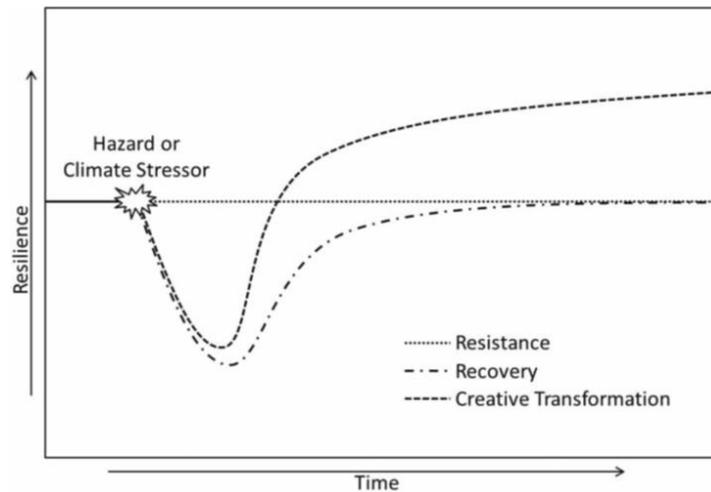


Abbildung 2: Verschiedene Dimensionen der Resilienz – Joakim et al. (2015)

### Robustheit

Robustheit kann sich auf verschiedene Ebenen beziehen. Eine robuste Entscheidung (oder eine robuste Anpassungsmaßnahme) zeichnet sich dadurch aus, dass sie die Ziele eines Systems über eine große Variation möglicher Ereignisse hinweg erfüllt. Eine Entscheidung (bzw. eine Anpassungsmaßnahme) ist dann nicht robust, wenn schon kleine Schwankungen der Bedingungen das Erreichen des Ziels verhindern.



Beispielhafte Entscheidungen und Anpassungsmaßnahmen: Aufgrund einer mehrjährigen Dürreperiode stellte ein Ackerbaubetrieb seinen Anbau komplett auf dürretolerante und an Hitze adaptierte Nutzpflanzen um. Dadurch konnte er in einem Dürrejahr ein optimales Erntergebnis erzielen. Sollte jedoch ein nasses Jahr folgen, muss er schwere Einbußen hinnehmen.

Seine Anpassungsmaßnahmen wären robuster gewesen, wenn er nicht seine gesamte Kultivierung verändert, sondern diversifiziert hätte. Dadurch hätte er in der Dürrephase zwar kein optimales Ergebnis erzielt, wäre aber auch weniger anfällig für ein nasses Jahr gewesen. Eine Diversifizierung der Kulturpflanzen und Sorten hätte daher die Anpassungsmaßnahme robuster gemacht.



Beispiel von Kalra et al. (2014): "Betrachten Sie zwei Kulturpflanzen: Kulturpflanze A liefert bei Dürre oder übermäßigem Regen einen konstanten Ertrag, während Kulturpflanze B unter bestimmten Bedingungen, die mit früheren Niederschlägen übereinstimmen, noch höhere Erträge liefert, ansonsten jedoch versagt. Wenn wir die Niederschläge kontrollieren oder zuverlässig vorhersagen könnten, dass die diesjährigen Niederschläge wie in der Vergangenheit aussehen würden, täten wir gut daran, Kultur B anzupflanzen und den Ertrag zu maximieren. Aber diese Entscheidung



*wird wahrscheinlich brüchig sein – wir können Niederschläge nur selten vorhersagen und ziehen es möglicherweise vor, unsere Prognosen abzusichern und Kultur A anzupflanzen, wenn Kultur B zu anfällig erscheint. Robustheit wird wichtig, wenn die Folgen einer Fehlentscheidung hoch sind. Wenn eine Ernteversicherung zum Schutz vor potenziell schlechten Erträgen verfügbar ist oder ausreichend Ersparnisse vorhanden sind, kann die Optimierung (und der Umgang mit schlechten Jahren) die beste Strategie sein. Wenn diese Werkzeuge und Ressourcen nicht verfügbar sind und die Folgen einiger Jahre niedriger Erträge katastrophal sind, dann wird Robustheit zur Priorität.“ (Übersetzung: CI)*

Ein resilienter Betrieb zeichnet sich durch seine Fähigkeit aus, über viele verschiedene klimatische und nicht-klimatische Veränderungen und Ereignisse hinweg funktionsfähig zu bleiben (d. h. die Betriebsziele zu erreichen) und sich auch nach erheblichen äußeren Störungen schnell zu erholen. Wiederherstellung bedeutet hier nicht die Rückkehr zum Zustand vor der Störung. Unter Wiederherstellung versteht man die Fähigkeit zu lernen. Das schlägt sich in der Anpassung und Umgestaltung des landwirtschaftlichen Systems nieder. Das Ziel ist immer, einen höheren Grad an Resilienz zu erreichen.

Mit anderen Worten bedeutet eine höhere Robustheit eine geringere Vulnerabilität, was sich in einer verringerten Sensibilität und/oder einer stärkeren Anpassungsfähigkeit widerspiegelt.

Übertragen auf die Betriebsebene bedeutet dies, dass Anpassungsmaßnahmen den Betrieb dabei unterstützen, unempfindlicher gegenüber Klimaeinflüssen und Extremereignissen zu werden. Ein Beispiel wäre die Installation eines effizienten Bewässerungssystems im Gemüseanbau, das den Betrieb weniger anfällig für Dürreereignisse macht. Darüber hinaus kann der Betrieb seine Anpassungsfähigkeit durch intelligente und vorausschauende Planung verbessern – das bedeutet, dass er zukünftige Anpassungsmaßnahmen schneller und/oder effizienter umsetzen kann. Ein Beispiel hierfür wäre die frühzeitige Klärung der Voraussetzungen (z. B. Baugenehmigung) für eine Agrar-Photovoltaikanlage.

### Übersetzung auf die Betriebsebene

Die Konzepte und Terminologie des IPCC sind für das Anpassungs-Management auf Betriebsebene nur bedingt nutzbar. Dennoch sind sie hilfreich, um eine einheitliche Verwendung von Begriffen – und damit eine gemeinsame Sprache und ein gemeinsames Verständnis – zu etablieren.

### Auswirkungen, Risiken und Gefährdungen des Klimawandels

Die drei Konzepte (Auswirkungen, Risiken, Gefährdungen) sind auf den ersten Blick nicht leicht zu verstehen und schwer zu unterscheiden. Glücklicherweise ist dies auf Betriebsebene nicht von hoher Relevanz. Um die Handhabung möglichst einfach zu gestalten, werden die Folgen des Klimawandels für den Betrieb und seine Umwelt unter dem Begriff Klimaauswirkungen zusammengefasst. Bei der Anpassungsplanung wäre die Leitfrage also: „Wie kann sich der Klimawandel auf unseren Betrieb auswirken und wie können wir uns an die Auswirkungen anpassen, um Verluste zu reduzieren oder zu verhindern?“ Die Gruppierung nach Auswirkungen des Klimawandels ist daher nicht ganz korrekt, vereinfacht aber die Kommunikation in der Anwendung.



### Anpassung und Vulnerabilität

Klimaauswirkungen und die daraus resultierenden Risiken können für einzelne Betriebe weder vollständig vorhergesagt noch verhindert werden. Es kann auch nicht viel getan werden, um die daraus resultierenden Gefährdungen oder Expositionen zu beeinflussen – es sei denn, der Betrieb wird am alten Standort aufgegeben und an einem anderen Standort neu eröffnet. Da dies für die meisten Betriebsleiter keine Option ist, ist dies auch keine adäquate Anpassungsstrategie. Für die Mehrheit der Landwirte besteht daher die einzige Möglichkeit darin, ihre Anfälligkeit zu verringern.

Die Anpassung auf Betriebsebene zielt somit darauf ab, die Anfälligkeit des Betriebs zu verringern und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit zu erhöhen, um möglichst flexibel, effektiv und effizient auf klimatische und nicht-klimatische Veränderungen zu reagieren. Hierbei ist zu beachten, dass viele Faktoren, die die Entwicklung der Vulnerabilität landwirtschaftlicher Betriebe beeinflussen, außerhalb des Handlungsspielraums des einzelnen Betriebs liegen (z. B. politische Entscheidungen oder Marktveränderungen).

### Anpassungsmanagement

Variabilität und Anpassung an neue Bedingungen sind für Landwirte nichts Neues. Diese Erfahrungen waren und sind wichtig für den Umgang mit dem Klimawandel und den zunehmenden Klimaschwankungen – aber sie reichen nicht aus. Dies spiegelt sich auch in den aktuellen Bemühungen um Anpassung an den Klimawandel wider.

Die meisten Anpassungsmaßnahmen wurden bisher als Reaktion auf erlebte Extremereignisse und -trends umgesetzt (Park et al., 2012; Porter et al., 2014), was sich beispielsweise in der früheren Aussaat oder dem Anbau anderer Kulturpflanzen zeigt. Dabei handelt es sich um Maßnahmen, die nur geringfügige Veränderungen im (landwirtschaftlichen) Produktionssystem bewirken und als Reaktion auf erlebte Klimaveränderungen umgesetzt werden. Angesichts der grundlegend neuen Herausforderungen des Klimawandels könnte sich diese Art der Anpassung als unzureichend erweisen (Rickards und Howden, 2012; Noble et al., 2014). Ein weiteres Problem besteht darin, dass einzelne Anpassungsmaßnahmen, die nicht in eine übergreifende Strategie eingebettet sind, zur Konsolidierung landwirtschaftlicher Produktionsformen führen könnten, die grundsätzlich nicht ausreichen, um einen schwerwiegenden und nichtlinearen Verlauf des Klimawandels zu bewältigen (Rickards und Howden, 2012). Vereinfacht ausgedrückt können ungeplante oder aufgrund falscher Informationen veranlasste Anpassungsmaßnahmen die Anpassungskosten erhöhen, wenn der Betrieb auf systemische oder transformative Anpassungsmaßnahmen umsteigen muss, die den Betrieb und seine Produktionsweise grundlegend verändern. Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen sind ausgefeilte Klima(anpassungs)strategien erforderlich.





Beispiel für Transferkosten: Ein Betrieb mit intensiv bewässertem Gemüseanbau investiert in ein effizienteres, aber sehr kapitalintensives neues Bewässerungssystem. Aufgrund des sinkenden Grundwasserspiegels wird jedoch die für die Bewässerung nutzbare Süßwassermenge ständig rationiert und der Gemüseanbau ist nicht mehr in seiner ursprünglichen Form möglich. Sollte der Betrieb nun erwägen, auf wasserintensive Landwirtschaft oder andere Aktivitäten umzusteigen, sind durch die Investition in das neue Bewässerungssystem die Transferkosten gestiegen.

### Unsicherheit

Wie bereits erwähnt, ist Unsicherheit eine der größten Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel – auch auf der Ebene der landwirtschaftlichen Betriebe. Laut Marchau et al. (2019) ist Unsicherheit begrenztes Wissen über zukünftige, vergangene oder aktuelle Ereignisse. Dies gilt für den Klimawandel. Was wir über mögliche zukünftige Auswirkungen des Klimawandels wissen, basiert auf Klimamodellen und daraus abgeleiteten Klimaprojektionen. Prognosen darüber, wie sich das Klima in der Zukunft verändern wird, unterliegen großen Unsicherheiten (IPCC, 2014b). Noch ungewisser ist, wie sich diese Änderung der Klimaparameter auf verschiedene Länder, Regionen oder einen einzelnen Betrieb auswirken wird. Erstens besteht eine inhärente Unsicherheit über die Entwicklung der Welt. Im Kontext des Klimawandels bedeutet dies, dass Annahmen über die Veränderung der Treibhausgasemissionen nur Szenarien möglicher Zukünfte und keine Vorhersagen sind. Zweitens basiert die Klimamodellierung auf unserem begrenzten Verständnis der physikalischen Funktion des Klimasystems und seiner Wechselwirkung mit externen und internen Kräften. Dazu gehört begrenztes Wissen über die maßgeblichen Kontrollmechanismen und nichtlinearen Rückkopplungen im Klimasystem (Chapin III et al., 2011), z.B. selbstverstärkende Mechanismen wie das Auftauen von Permafrost, zunehmende Waldbrände oder die Austrocknung von Feuchtgebieten (Lenton et al., 2008), die eine grundsätzliche Freisetzung von Treibhausgasemissionen nach sich ziehen. Mit diesen selbstverstärkenden Effekten ist die Unsicherheit darüber verbunden, wann mögliche Schwellenwerte erreicht werden und es zu abrupten Veränderungen im Klimasystem kommt (Rockström et al., 2009). Drittens werden bei der Klimamodellierung Annahmen und Vereinfachungen verwendet, die die Darstellung der Realität einschränken (IPCC, 2014b). Da potenzielle Klimaauswirkungen hauptsächlich aus Klimaprojektionen abgeleitet werden, kaskadieren Unsicherheiten (Refsgaard et al., 2013) und nehmen aufgrund der Komplexität des Mensch-Umwelt-Klima-Systems zu. Da der Erfolg oder Misserfolg bei der Minderung oder Abschwächung des Klimawandels nicht vorhersehbar ist, ist es auch nicht möglich, die Fähigkeit menschlicher und natürlicher Systeme, sich an neue und sich ändernde klimatische Bedingungen anzupassen, mit Sicherheit vorherzusagen.

Was die Prognosen der Klimaauswirkungen besonders unsicher macht, ist die Komplexität der Wechselwirkung zwischen den Klimaauswirkungen der verschiedenen Komponenten des humanökologischen Systems und der daraus resultierenden Rückkopplung mit dem Klimawandel. Jones et al. (2014) beschreiben den Klimawandel als eine Interaktion komplexer Umgebungen mit widersprüchlichen Werten, die den Klimawandel zu einem großen Problem machen. Dies impliziert erhebliche wissenschaftliche Unsicherheiten, unterschiedliche

Formulierungen des Problems durch verschiedene Akteure und große Unklarheiten darüber, wie Lösungen entworfen und umgesetzt werden können. Unter diesen Aspekten kann auch die Landwirtschaft als Problem wahrgenommen werden.

Der Grund hierfür liegt in der Komplexität landwirtschaftlicher Systeme. In der Landwirtschaft interagieren und beeinflussen sich verschiedene Umwelt- und Sozialsysteme (z. B. Boden, Wasser, Artenvielfalt, Marktentwicklungen, politische Entscheidungen usw.).

### Komplexität

Die landwirtschaftliche Produktion und der einzelne Betrieb stehen in einer komplexen Wechselwirkung mit unterschiedlichen, voneinander abhängigen Systemen (soziales Umfeld und Agrarökosystem). Diese Systeme wiederum bestehen aus verschiedenen Elementen (Agrarökosystem: Boden, Wasser, Biodiversität etc.; soziales Umfeld: Märkte, Politik, Partner etc.), die sich gegenseitig beeinflussen und interagieren.

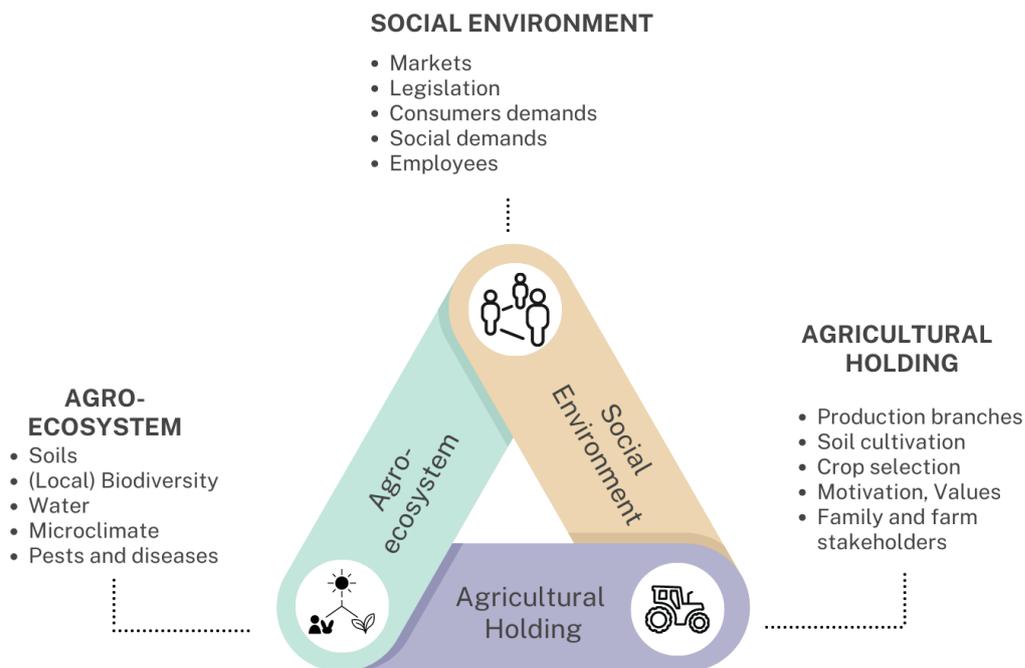


Abbildung 3: Komplexität auf Betriebsebene – eigene Darstellung

Somit besteht auch ohne Klimawandel eine hohe Komplexität auf Betriebsebene mit vielfältigen und oft unvorhergesehenen Wechselwirkungen und Auswirkungen. Allerdings verstärkt der Klimawandel diese Komplexität.

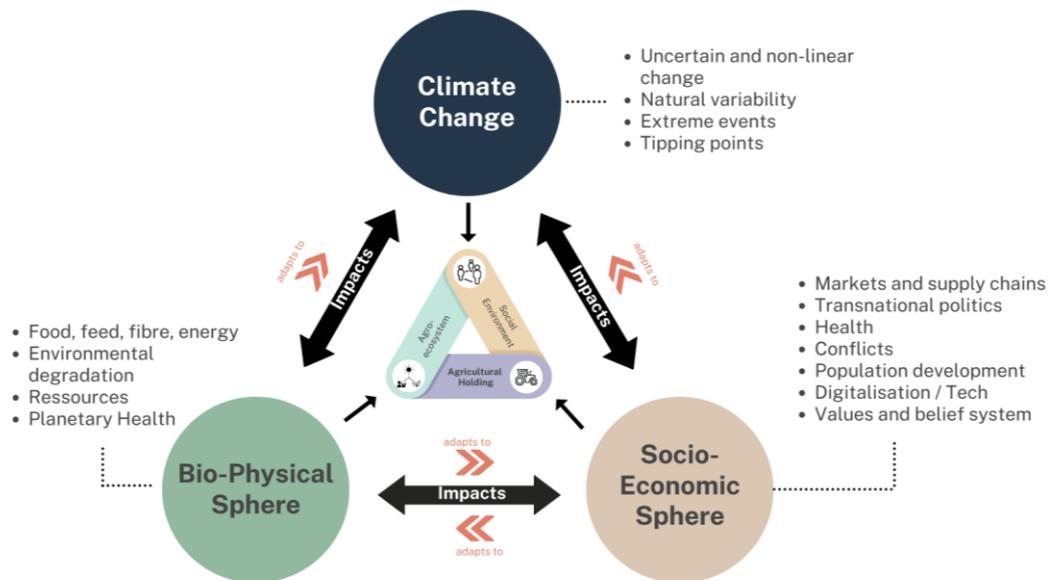


Abbildung 4: Zunehmende Komplexität auf Betriebsebene durch den Klimawandel – eigene Darstellung

Auch die mit der Landwirtschaft interagierenden Systeme sind vom Klimawandel betroffen. Es ist jedoch ungewiss, wie sie davon betroffen sein werden und, was noch wichtiger ist, wie die Reaktionen (Anpassungen) jedes Systems aussehen werden. Da diese Reaktionen voneinander abhängig sind und sich gegenseitig beeinflussen, erhöht sich die Unsicherheit über mögliche direkte und indirekte Klimaauswirkungen auf Betriebsebene. Darüber hinaus werden die Reaktionen der Landwirte auch Auswirkungen auf die damit verbundenen Umwelt- und Sozialsysteme haben. Zusammengefasst werden diese Reaktionen dann wiederum Einfluss auf den Ausstoß weiterer Klimagase und damit auf die Entwicklung der Klimakrise haben. Dementsprechend müssen sich Landwirte an das gesamte Spektrum möglicher Auswirkungen des Klimawandels anpassen, zu denen biophysikalische, soziale, kulturelle, politische und wirtschaftliche Veränderungen gehören (Rickards und Howden, 2012). Aufgrund dieser Komplexität können Landwirtschaft und Klimawandel als Quellen „tiefer Unsicherheit“ eingestuft werden. Weitere Informationen zu tiefer Unsicherheit finden sich im Kapitel „Theoretischer Hintergrund: Methoden und Grundlagen“.



Am Beispiel der Landwirtschaft und des Süßwassers lässt sich die Problematik der voneinander abhängigen Auswirkungen des Klimawandels veranschaulichen: Der Klimawandel beeinflusst bereits jetzt Niederschlagsmuster und Wasserverfügbarkeit in verschiedenen Regionen der Welt. Dies hat direkte Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion, z.B. wirkt sich ein niedrigerer Grundwasserstand oder begrenzte Wassermengen auf Bewässerung und Tierhaltung aus. Indirekte Auswirkungen sind höhere Wasserpreise und mögliche Konflikte mit anderen Nutzern von Wasser. Allerdings wirken sich Landbewirtschaftungspraktiken durch Nährstoffauswaschung,



Bodenerosion und Verschmutzung auch auf die Wasserressourcen aus. Die negativen Auswirkungen können durch den Klimawandel verstärkt werden, z.B. durch höhere Erosionsraten infolge von Starkregenereignissen (insbesondere im Winter) und mangelnder Bodenbedeckung, was zu höheren Nährstoffauswaschungen und Schadstoffeinträgen führt. Gleichzeitig könnte es zu einem geringeren Verdünnungseffekt kommen, da der Niederschlag insgesamt abnimmt. Dies würde die verfügbaren Wasserressourcen weiter reduzieren und damit die Wasserverfügbarkeit für die landwirtschaftliche Nutzung weiter einschränken.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Klimawandel sowohl das biophysikalische als auch das sozioökonomische Umfeld, in dem Landwirtschaft betrieben wird, erheblich verändert. Dies hat und wird sich auf vielfältige und ungewisse Weise auf die Landwirtschaft auswirken. Dies erschwert die Planung landwirtschaftlicher Entwicklungs- oder Anpassungsstrategien. Folglich muss diese Unsicherheit aktiv in den Planungsprozess integriert werden.

### Umgang mit Unsicherheit

Es sind viele Anpassungsmaßnahmen für die Landwirtschaft bekannt. Die entscheidende Frage ist jedoch, welche Maßnahmen und Strategien die Widerstandsfähigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebs gegenüber einer Vielzahl möglicher zukünftiger Entwicklungen erhöhen (Abbasi et al., 2020) und zu den Strukturen, der Geographie und den Zielen eines landwirtschaftlichen Betriebs passen. Das Ignorieren der bestehenden Unsicherheit erleichtert den Planungsprozess, kann jedoch schwerwiegende Folgen für die Zukunft haben (Marchau et al. 2019). Dies kann in Zukunft zu einer verringerten Flexibilität oder einer geringen Effizienz bei der Anpassung führen (Abbasi et al., 2020). Einfach ausgedrückt bedeutet dies, dass eine kurzfristige Entscheidung ohne Planung die langfristigen Optionen zur Klimaanpassung einschränken oder ihre Kosten erhöhen kann. Um dies zu verhindern, muss Unsicherheit in die Anpassungsplanung auf Betriebsebene integriert werden.

Zur Zukunftsplanung gehört zwangsläufig eine Einschätzung möglicher, aber ungewisser Veränderungen (Marchau et al., 2019). Um diesem Problem zu begegnen, wurden entsprechende Strategien üblicherweise anhand von Szenarien entworfen. Ein Szenario beschreibt einen potenziell möglichen Zustand der Zukunft, ohne eine konkrete Vorhersage zu treffen (Jones et al., 2014). Nach der Entwicklung plausibler Zukunftsszenarien werden diesen Szenarien Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. Abhängig von der Wahrscheinlichkeit der Szenarien können die Entscheidungsträger eine Strategie auswählen. Dieser Ansatz wird auch „Predict-then-Act“ genannt (siehe z. B. Barnard und Nix, 1979) und ist auch die Grundlage für das traditionelle Risikomanagement. Dieser Ansatz ist für die Anpassungsplanung problematisch, da wir bestimmten Szenarien keine zuverlässigen Wahrscheinlichkeiten zuordnen können. Darüber hinaus kann die tatsächliche Zukunft außerhalb der entwickelten Szenarien liegen, was entsprechende Strategien ineffizient und/oder ineffektiv macht.

Anpassungsprozesse unter großer Unsicherheit erfordern einen Ansatz, der auf Beobachtung, Vorbereitung, Lernen und kontinuierlicher Anpassung basiert. Flexibilität und die Fähigkeit, schnell auf neue Informationen oder sich ändernde Bedingungen zu reagieren, sind Kernmerkmale eines resilienten Systems (Marchau et al., 2019). Dieser Ansatz wird auch



iteratives Risikomanagement genannt und basiert auf einem kontinuierlichen Prozess aus Bewertung, Handeln, Beobachtung und Neubewertung (Jones et al., 2014). Der Begriff iterativ hebt den Prozess der Klimaanpassung hervor, wobei der Fokus auf Lernen und Flexibilität liegt und das Ziel darin besteht, dynamische und adaptive Strategien zu entwickeln.

### Erfolgreiche Anpassung und Fehlanpassung

Das Ignorieren von Unsicherheit sowie Feedback und Interaktion innerhalb und zwischen verschiedenen Systemen kann zu Fehlanpassungen führen. Es gibt viele Definitionen von Fehlanpassung, aber den meisten ist gemeinsam, dass sie sich auf die negativen Folgen beziehen, die sich aus Anpassungsstrategien ergeben (Neset et al., 2019). Grundlegend für das Verständnis des Problems der Fehlanpassung ist das Verständnis der zeitlichen und räumlichen Dimensionen der Anpassung. Je nach Zeitpunkt der Bewertung entsteht die paradoxe Situation, dass eine Maßnahme gleichzeitig positiv oder negativ bewertet werden kann.



Beispiel einer Fehlanpassung: Der Bau eines klimatisierten Stalls für Milchvieh ist eine wirksame Möglichkeit, den Rückgang der Milchleistung aufgrund zunehmender Hitzewellen zu reduzieren. Kurzfristig trägt diese Anpassungsmaßnahme relativ sicher dazu bei, den Betrieb widerstandsfähiger gegen Hitzewellen zu machen. Sollten jedoch in der Zukunft anhaltende Dürreperioden ein solches Ausmaß erreichen, dass die Futterproduktion in der betroffenen Region erheblich eingeschränkt wird und die Milchviehhaltung unrentabel wird, wird sich der neue und kostspielige, klimatisierte Viehstall als schlechte Anpassungsmaßnahme erweisen – insbesondere dann, wenn diese Situation eintritt bevor der Kuhstall vollständig abbezahlt ist, was in der Regel ein Zeitraum zwischen 20 und 30 Jahren ist.

Darüber hinaus hängt es davon ab, wie der Erfolg von Anpassungsmaßnahmen beurteilt wird, was als Fehlanpassung angesehen werden kann und was nicht.

Noble et al. (2014) beschreiben einen „Anpassungsbedarf“ als eine Abweichung zwischen dem gewünschten zukünftigen Zustand eines Systems und den Einschränkungen, die sich aus dem tatsächlichen oder prognostizierten Klimawandel ergeben. Eine Anpassungsmaßnahme ist dann wirksam, wenn sie in der Lage ist, diesen Anpassungsbedarf (man könnte auch sagen: ein definiertes Ziel) zu erfüllen. Dies ist problematisch, da der Anpassungsbedarf betriebsspezifisch und vielfältig ist. Darüber hinaus entwickelt er sich dynamisch und kann sich im Laufe der Zeit ändern. Genauso wie der Klimawandel und seine Folgen. Das bedeutet, dass Anpassung ein kontinuierlicher Prozess ist, der sich mit dem Klimawandel, neuen Informationen, Veränderungen im und um den Hof sowie gesellschaftlichen Normen und Werten weiterentwickeln sollte. Dementsprechend muss der Erfolg von Klimamaßnahmen immer in Bezug auf die betriebsspezifischen Ziele und die zeitliche Dimension beurteilt werden.

Neben der Wirksamkeit der Anpassung ist auch die Effizienz relevant. Effizienz in der Anpassung lässt sich jedoch nicht auf das einfache Verhältnis von Kosten und Nutzen



reduzieren. Einerseits, weil verschiedene, auch nicht-monetäre Vorteile angestrebt werden (z. B. Förderung der Biodiversität), und andererseits, weil es angesichts (tiefer) Unsicherheit nicht möglich ist, alle potenziellen Kosten und Vorteile zu berechnen. Darüber hinaus ist auch hier die zeitliche Dimension zentral. Was kurzfristig unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten nicht effizient ist, kann sich auf lange Sicht als lohnende Investition erweisen und den Betrieb robuster und widerstandsfähiger machen.



Beispiel Zeitdimension und Effizienz: Die Etablierung eines Agroforstsystems auf einem erosionsgefährdeten Standort erfordert kurzfristig Investitionen und Arbeitskräfte bei gleichzeitig geringem oder keinem (finanziellen) Nutzen. Mittel- bis langfristig tragen Investitionen in die Agroforstwirtschaft jedoch dazu bei, das Erosionsrisiko zu verringern, das Wassermanagement in der Region zu verbessern und zusätzliche finanzielle Erträge zu erzielen. Darüber hinaus gibt es viele positive Effekte, die nicht direkt monetarisiert werden können, z.B. für die lokale Artenvielfalt.

Neben der zeitlichen Dimension der Anpassung ist auch die räumliche Dimension relevant. Die räumliche Dimension bezieht sich auf mögliche Nebenwirkungen, die sich aus Anpassungsmaßnahmen ergeben. Dabei handelt es sich vor allem um negative Auswirkungen auf andere Menschen oder natürliche Systeme – sogenannte negative Externalitäten.



Beispiel für negative Externalitäten: Intensive Bewässerung kann die Erträge und das Einkommen eines landwirtschaftlichen Betriebes stabilisieren, könnte aber auch zu negativen Auswirkungen wie sinkenden Grundwasserspiegel und damit verbundener Wasserknappheit führen. Dies hätte wiederum negative Auswirkungen auf andere Wassernutzer.

Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist, ob eine Fehlanpassung nur durch Anpassungsmaßnahmen oder auch durch andere Managemententscheidungen entstehen kann. Obwohl die obige Definition dies ausschließt, ist es eine wichtige Überlegung. Generell wird die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen nicht nur durch Bedrohungen des Klimawandels vorangetrieben, sondern vereint mehrere Beweggründe. Ebenso können sich Entscheidungen, die ohne Berücksichtigung des Klimawandels getroffen werden, auch auf die zukünftige Anpassungsfähigkeit des Betriebs auswirken. Daher empfiehlt es sich, den Kontext des Klimawandels bei allen Entscheidungen zu berücksichtigen bzw. fest in die Betriebsführung zu integrieren.



## ZUSAMMENFASSUNG – Klimawandelmanagement

- Auf Betriebsebene werden folgende Begriffe verwendet:
  - **Auswirkungen auf das Klima:** dies umfasst Gefährdungen durch das Klima (z. B. neue Schädlinge und Krankheiten) sowie Klimaauswirkungen (z. B. Ertragsverluste, höhere Veterinärkosten usw.)
  - **(Hof-)Vulnerabilität:** Die Veranlagung eines landwirtschaftlichen Betriebes, durch tatsächliche oder prognostizierte Änderungen der Klimaparameter negativ beeinflusst zu werden
  - **(Hof-)Resilienz:** Die Fähigkeit eines Betriebs, trotz unterschiedlicher Veränderungen und Störungen funktionsfähig zu bleiben und Betriebsziele zu erreichen, einschließlich der Fähigkeit, nach Schocks oder als Reaktion darauf neues Wissen zu lernen und sich anzupassen.
- **Zur Bewältigung des Klimawandels sind sowohl Klimaschutz als auch Anpassung an den Klimawandel notwendig.** Auf Betriebsebene muss beides berücksichtigt und entsprechende Maßnahmen gemeinsam geplant werden, um Synergien zu nutzen
- **Unter Anpassung versteht man die Planung und Umsetzung von Maßnahmen, die negative Auswirkungen des Klimawandels abmildern und positive Entwicklungen nutzen**
  - Anpassung soll einen Betrieb dazu befähigen **präventiv zu handeln** (um Risiken zu reduzieren) und **flexibel zu reagieren** angesichts abrupten und unvorhergesehener klimatischer und nicht-klimatischer Veränderungen
- **Herausforderung: Unsicherheit** in Bezug auf den Klimawandel und seine Auswirkungen
  - **Unsicherheit muss integriert werden** im Anpassungsprozess
  - **Anpassung muss gesehen werden als kontinuierlicher Prozess** basierend auf Beobachtung, Vorbereitung und Lernen
  - Ohne angemessene Planung kann eine Anpassungsmaßnahme letztlich zu Fehlanpassungen führen
    - **Fehlanpassung:** Negative Folgen von Anpassungsentscheidungen, die die Anpassungsfähigkeit eines Betriebs beeinträchtigen oder negative externe Effekte nach sich ziehen
- **Es ist schwierig, den Erfolg der Anpassung zu bestimmen**, da dies von der zeitlichen und räumlichen Dimension der Beobachtung abhängt. **Es gibt keine „one-size-fits-all“-Anpassungsmaßnahmen**



- Auf der Betriebsebene sind die **Betriebsziele entscheidend für die Erfolgskontrolle von Anpassungsmaßnahmen.**
- Eine erfolgreiche Klimaanpassung ist eine anspruchsvolle Aufgabe und erfordert daher einen umfassenden Ansatz, um langfristig wirksam und erfolgreich zu sein
- Das Projekt ClimateFarming vereint Ansätze und Methoden aus dem **Anpassungsmanagement und der regenerativen Landwirtschaft** um einen umfassenden Ansatz für eine erfolgreiche Anpassungsplanung auf Betriebsebene bereitzustellen

## Referenzen

Abbasi, H., Delavar, M., Nalbandan, R. B., and Shahdany, M. H. (2020). Robust strategies for climate change adaptation in the agricultural sector under deep climate uncertainty. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pages 1–20.

Barnard, C. S., and Nix, J. (1979). *Farm planning and control*. Cambridge University Press.

Chapin III, F. S., Matson, P. A., and Vitousek, P. (2011). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media.

Füssel, H.-M. and Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3):301–329.

Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global environmental change*, 19(2):240–247.

IPCC, 2014a: Annex II - Glossary . In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1557-1776.

IPCC, 2014b: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and

L.L. White (eds.]). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562, doi:10.1017/9781009157940.008.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33

Joakim, E. P., Mortsch, L., and Oulahan, G. (2015). Using vulnerability and resilience concepts to advance climate change adaptation. *Environmental Hazards*, 14(2):137–155.

Jones, R., Patwardhan, A., Cohen, S., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R., Mirza, M. Q., and von Storch, H. (2014). Foundations for decision making. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 195–228. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kalra, N., Hallegatte, S., Lempert, R., Brown, C., Fozzard, A., Gill, S., & Shah, A. (2014). Agreeing on robust decisions: new processes for decision making under deep uncertainty. *World Bank Policy Research Working Paper*, (6906).

Kwakkel, J. H. and Haasnoot, M. (2019). Supporting DMDU: A Taxonomy of Approaches and Tools. In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 355–375. Springer Nature.

Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., and Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the earth's climate system. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 105(6):1786–1793.

Marchau, V. A., Walker, W. E., Bloemen, P. J., and Popper, S. W. (2019). Introduction. In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 1–20.

Springer Nature.

Neset, T.-S., Wiréhn, L., Klein, N., Käyhkö, J., and Juhola, S. (2019). Maladaptation in nordic agriculture. *Climate Risk Management*, 23:78–87.

Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., and Villamizar, A. (2014). Adaptation needs and options. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 833–868. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Park, S. E., Marshall, N. A., Jakku, E., Dowd, A. M., Howden, S. M., Mendham, E., and Fleming, A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22(1):115–126.

Porter, J., Xie, L., Challinor, A., Cochrane, K., Howden, S., Iqbal, M., Lobell, D., Travasso, M., et al. (2014). Food security and food production systems. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 485–533. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Refsgaard, J. C., Arnbjerg-Nielsen, K., Drews, M., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Markandya, A., Olesen, J. E., Porter, J. R., and Christensen, J. H. (2013). The role of uncertainty in climate change adaptation strategies—a danish water management example. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3):337–359.

Rickards, L. and Howden, S. M. (2012). Transformational adaptation: agriculture and climate change. *Crop and Pasture Science*, 63(3):240–250.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., et al. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461(7263):472–475.

Wreford, A., Moran, D., and Adger, N. (2010). *Climate change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation*. OECD publishing.



## Lektion 3: Regenerative Landwirtschaft: Eine mögliche Lösung

Alena Holzknecht, Janos Wack

In diesem Kapitel möchten wir einen Überblick über die Ursprünge und unterschiedlichen Verständnisse der regenerativen Landwirtschaft (RA) geben und wie sie mit anderen alternativen landwirtschaftlichen Ansätzen zusammenhängt. Darüber hinaus werden wir kurz Themen wie Kohlenstoffzertifikate und Stakeholder im Bereich RA, Bodengesundheit/-qualität und Optionen zur Reduzierung von Treibhausgasen (THG) in landwirtschaftlichen Betrieben ansprechen. Abschließend werden einige Erkenntnisse aus der Forschung sowie Wissenslücken bei RA diskutiert.

Nach der Lektüre dieses Kapitels sollte der Leser in der Lage sein, eine Definition von RA zu identifizieren, der er zustimmt, oder eine eigene zu formulieren. Ein weiteres Ziel besteht darin, Akteure in der RA und ihre Praktiken kritisch bewerten zu können und sich eine eigene Meinung zu aktuellen Diskussionen in diesem Bereich zu bilden.

**Haftungsausschluss:** Die bereitgestellte Literatur spiegelt nicht unbedingt unser Verständnis von regenerativer Landwirtschaft wider, die Autoren halten es jedoch für wichtig, verschiedene, auch kontrovers diskutierte Quellen zu kennen, um sich eine eigene Meinung zu bilden und die aktuellen Diskussionen in diesem Bereich darzustellen. Bitte lesen Sie kritisch und hinterfragen Sie die Methodik der behaupteten Erfolge.

Dieses Kapitel enthält Auszüge aus zwei Masterarbeiten zum Thema Regenerative Landwirtschaft:

- **Magisterarbeit von Lærke Daverkosen & Alena Holzknecht**
- **Eine Masterarbeit von Janos Wack**  
**(ursprünglich auf Deutsch verfasst)**

### Vorwort

Um die im vorherigen Kapitel beschriebenen Probleme und Herausforderungen der Landwirtschaft anzugehen, sind viele unterschiedliche Ansätze erforderlich. Einige Beispiele für moderne Lösungen, die auf unterschiedlichen Ebenen diskutiert und teilweise umgesetzt werden, sind z.B. Intensivbewässerung, Gentechnik, Digitalisierung und intelligente Landwirtschaft, spezialisierte Intensivlandwirtschaft, erdlose Landwirtschaft, Landwirtschaft in kontrollierten Umgebungen oder alternative Bestäubung mit Menschen oder Robotern. Viele davon sind kapitalintensiv, erfordern High-Tech-Lösungen oder lösen Probleme durch die Behandlung der Symptome fehlerhafter Systeme, die möglicherweise nur lokal oder vorübergehend einen bestimmten Druck lindern. Sie führen in den meisten Fällen auch zu einer erhöhten Abhängigkeit von externen Inputs, auf die bereits im Modul *Probleme und Herausforderungen* eingegangen wurden. Ohne übergreifende Strukturanpassungen können



weitere, möglicherweise unerwartete Probleme auftreten

Es ist wichtig, im Blick zu behalten, dass wir es mit unterschiedlichen Kontexten zu tun haben, die alle ihre eigenen Herausforderungen auf ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Ebene mit sich bringen. Giller et al. (2021) betonen, dass die große Vielfalt an kontextspezifischen Politiken, Agrarökosystemen, Nahrungsmitteln und landwirtschaftlichen Systemen unterschiedliche Probleme angeht. Daher kann kein spezifischer Satz von Vorgehensweisen oder sinnvolle Problemdefinitionen erstellt werden, um alle Herausforderungen gleichermaßen anzugehen. In manchen Kontexten können einige der oben genannten Lösungen oder eine Kombination davon sinnvoll sein.

Aufgrund seiner Komplexität und der Tatsache, dass sich die Diskussion darüber sowohl im wissenschaftlichen als auch im Mainstream-Bereich schnell weiterentwickelt, erheben wir nicht den Anspruch, das Thema RA in seiner Gesamtheit zu untersuchen. Im Zentrum unseres Verständnisses von RA stehen jedoch einige Hauptthemen, die sich ganzheitlich mit den vielfältigen und mehrdimensionalen Herausforderungen in der heutigen Landwirtschaft befassen. Dies trägt zur Anpassung an den Klimawandel bei, indem eine Vielzahl von Umwelt-, Sozial- und Wirtschaftsfaktoren berücksichtigt und in Maßnahmen umgesetzt werden, die zu einer höheren Widerstandsfähigkeit und Lebensqualität auf dem und rund um den Hof führen.

### Geschichte der regenerativen Landwirtschaft

Das Wort Regeneration leitet sich vom lateinischen genero [produzieren oder fortpflanzen] und re- [zurück oder wieder] ab. In der Biologie wird der Begriff für den Prozess der Wiederherstellung und des Wachstums verwendet (Hermani 2020). Aus landwirtschaftlicher Sicht kann dies in der Wiederherstellung des Bodens umgesetzt werden, was bedeutet, dass die Anwendung von RA-Praktiken vom aktuellen Zustand des Kulturlandes abhängt. Das Wort „Regeneration“ betont eine Neuorientierung, die nicht nur auf die Reduzierung von Schaden zielt, sondern tatsächlich positive Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesellschaft hat (Robinson & Cole 2015).

Üblicherweise wird dem Sohn des US-amerikanischen Bio-Pioniers J. I. Rodale die erste Erwähnung Anfang der 1980er Jahre zugeschrieben. Allerdings wurde der Begriff auch von Gabel (1979 zitiert nach Giller et al. 2021) verwendet, so dass der Ursprung nicht klar ist. Robert Rodale, Sohn des Bio-Pioniers Jeremy Rodale, schrieb in seinem Artikel *Breaking New Ground: The Search for a Sustainable Agriculture* (Rodale 1983) über regenerative Landwirtschaft. „Er stellte sich eine Landwirtschaft jenseits des gegenwärtigen Systems und ‘jenseits der Nachhaltigkeit’ vor, um unsere landwirtschaftlichen Ressourcen zu erneuern und zu regenerieren (Rodale 1983)“ (Mang & Reed 2012; Hermani 2020) (Übersetzung: CI). Dies sollte durch eine zentrale Fokussierung auf die Wiederherstellung erreicht werden, denn „eine Maßnahme, die bei steigender Produktivität unsere biologische Produktionsbasis für Land und Boden erhöht [...] und nur minimale bis gar keine Auswirkungen auf die Umwelt jenseits der Hof- oder Feldgrenzen hat“ (Rodale 1983). (Übersetzung: CI) Obwohl Rodale der erste war, der den Begriff „regenerativ“ prägte, hatten Pioniere der Permakultur bereits 1978



einen ökologischen Ansatz eingeführt, der das regenerative Potenzial ökologischer Systeme betonte, indem sie das Verhältnis des Menschen zur Natur veränderten (Mang & Reed 2012).

In den 1990er Jahren verschwand der Begriff „regenerative Landwirtschaft“ in der Literatur und -forschung nahezu ganz. Dieses Fehlen erfolgte parallel zur Entwicklung erster Bio-Zertifizierungen und der Institutionalisierung des ökologischen Landbaus (Hermani 2020). Im Jahr 1994 wurden fünf Prinzipien formuliert, wobei die Punkte „Boden schützen und revitalisieren“, „Biodiversität“ und „Tiere integrieren“ (Lyle 1994 nach Hermani 2020) für das heutige Verständnis der regenerativen Landwirtschaft besonders relevant sind.

Zu Beginn des neuen Jahrtausends begannen einzelne Pioniere, den Begriff erneut zu verwenden und nach entsprechenden Vorstellungen zu wirtschaften. Seit 2010 kommunizieren immer mehr Akteure ihre Vision einer regenerativen Landwirtschaft in der Öffentlichkeit. Ein wichtiger Meilenstein war die Gründung von „Regeneration International“ im Jahr 2015, einer internationalen Stiftung mit dem ehrgeizigen Ziel, „to reverse global warming and end world hunger by facilitating and accelerating the global transition to regenerative agriculture and land management“ (Regeneration International 2019). Dies sorgte für eine erhöhte Aufmerksamkeit für RA, die in den letzten Jahren sowohl in der Mainstream- als auch in der akademischen Literatur festgestellt werden konnte (Hermani 2020). Darüber hinaus hat RA politische Aufmerksamkeit erlangt und wurde im IPCC-Sonderbericht über Klimawandel und Land im Jahr 2019 als „sustainable land management practice (IPCC 2019)“ aufgeführt.

## Definitionen

Der Begriff „regenerative Landwirtschaft“ ist weder geschützt noch verfügt er über eine einheitliche Definition (Elevitch et al. 2018), die einen großen Interpretationsspielraum zulässt. Einerseits kann das Fehlen einer einheitlichen Definition zu starken Vereinfachungen durch die Gleichsetzung von RA mit z.B. carbon farming führen (Newton et al. 2020). Andererseits besteht in der Szene die Forderung nach einem möglichst ganzheitlichen Ansatz auf der Ebene einzelner Ökosysteme, der eine einheitliche Definition ablehnt (Soloviev und Landua 2016). Während einige Definitionen bestimmte landwirtschaftliche Praktiken oder Prinzipien einbeziehen (z. B. Fruchtfolge), definieren andere den Begriff, indem sie Praktiken ausschließen (z. B. Bodenbearbeitung, Herbizideinsatz). Darüber hinaus können die verschiedenen Definitionen nach ihrem Fokus auf die verwendeten Praktiken (z. B. Direktsaat), dem Ergebnis der Maßnahme (z. B. Verbesserung der Bodenqualität) oder einer Mischung beider Ansätze unterteilt werden (Newton et al. 2020). Dies ist besonders relevant, wenn es um Zertifizierungen geht, da die Erfolgskontrolle davon abhängt, wie genau Sie diese definieren. Der ökologische Landbau beispielsweise wird nach Inputs, die nicht erlaubt sind, definiert: Pestizide, Herbizide, synthetische Düngemittel usw. sind Inputs. Für die Zertifizierung spielt es jedoch keine Rolle, welche Bodenbearbeitungspraktiken ein Biohof anwendet. Dennoch haben viele Ansätze der RA das Ziel einer verbesserten Bodenqualität gemeinsam (Schreefel et al. 2020). Schreefel et al. (2020) schlagen ebenfalls eine konkrete Definition für die internationale Standardisierung des Begriffs vor, die auf einer Analyse bisheriger wissenschaftlicher Veröffentlichungen und Definitionsansätze basiert:



„An approach to agriculture that uses soil conservation as a starting point for regeneration and contribution to multiple provisioning, regulating and supporting services, with the aim that this improves not only the environmental but also the social and economic dimensions of sustainable food production (Schreefel et al. 2020).“

Die Autoren der oben genannten Veröffentlichung wollten eine breite Diskussion anstoßen und in den nächsten Schritten Benchmarks entwickeln. Innerhalb der nächsten Jahre könnte international eine einheitliche wissenschaftliche Definition gefunden werden.

Eine andere Definition wurde von Daverkosen und Holzknecht et al. vorgeschlagen. (2022):

„We define RA as an ever-developing, complex, and context-dependent agricultural approach aiming to restore and regenerate degraded land and contribute to climate change adaptation with mitigation co-benefits. In RA, the soil is the entry point to rethink food systems with the aim of enhancing biological, physical, chemical, as well as cultural ecosystem services in response to ecological conditions and the climate crisis, on a local as well as a global level (Daverkosen und Holzknecht et al. 2022)“.

Regenerative Landwirtschaft ist daher als ein Konzept zu verstehen, das sich noch in der Entwicklung befindet und das kann je nach Selbstverständnis der Akteure auch so bleiben. Es handelt sich um ein Konzept, das in einem Bereich mit vielen Stakeholdern, Interessen und Verständnissen nicht allgemein definiert ist. Darüber hinaus findet es in nahezu unendlich vielen unterschiedlichen Kontexten statt, die alle ihre eigenen Herausforderungen auf ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Ebene mit sich bringen. Dies unterstreicht, dass sich seine Definition je nach Benutzerkontext weiterentwickeln und unterscheiden kann.

Hermani (2020) nennt zwei Hauptstränge innerhalb der RA, eine technoökonomische und eine agrarökologisch-bäuerliche Bewegung. Die erste ist oft durch große Agrarunternehmen gekennzeichnet, die keinen Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft anstreben und ihre Produktion aufrechterhalten wollen. Letztere verfolgt eine grundlegende (und möglicherweise radikalere) Umstrukturierung der Lebensmittelsysteme. Dieses Argument wird angeführt, um zwischen einem Lager, das eine ganzheitliche, ökosystemzentrierte Sichtweise anstrebt, und der Anwendung einzelner Praktiken zu unterscheiden. Auf der anderen Seite gibt es große Akteure wie z.B. der Syngenta-Gruppe, die ihr eigenes Verständnis von RA haben und damit die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit prägen.

Viele US-amerikanische Konzerne wie General Mills, Cargill, Lush Cosmetics, Unilever und One Planet Business for Diversity (OP2B), ein Wirtschaftskonzern zu dem Nestlé, Danone und L'Oréal gehören, nutzen RA als Werbestrategie. Ab etwa 2017 ist RA für viele Unternehmen zu einem neuen Schlagwort geworden, mit einem eher reduktionistischen Ansatz der Anwendung einzelner Praktiken in einem unveränderten System, oft ohne klare und verbindliche Standards (Beste 2019; Hermani 2020; Giller et al. 2021). Während sie Praktiken anwenden, die als regenerativ gelten, lassen die Implementierungen Interaktionen und Komplexität außer Acht, auf die später noch näher eingegangen wird. Die Definitionen offen und dynamisch zu halten, kann eine Möglichkeit sein, zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung des Verständnisses, der Praxis und der Erweiterung von RA beizutragen (Soloviev & Landua 2016), es kann jedoch auch ein zweischneidiges Schwert sein und die Kooptation des Begriffs RA durch große Konzerne ermöglichen.

Es gibt jedoch einige gemeinsame Nenner, über die sich die meisten Stakeholder der RA einig sind. Laut Elevitch et al. 2018, Newton et al. 2020 und Schreefel et al. 2020 sollte die regenerative Landwirtschaft folgende Ergebnisse hervorbringen:

- Unterstützung der Bodengesundheit
- Erhöhung der Infiltration und Speicherung von Wasser
- Steigerung und Erhalt der Artenvielfalt
- Speicherung von Kohlenstoff
- Schaffung widerstandsfähigerer Agrarökosysteme

Weitere erklärte Ergebnisse und Zusatznutzen sind verbesserte Wassereinzugsgebiete und Wasserressourcen, verbesserte Ökosystemleistungen und Gesundheit, geschlossene Nährstoffkreisläufe, verringerte Treibhausgasemissionen, gleiche oder höhere landwirtschaftliche Produktivität, verbessertes Tierwohl, besseres soziales und wirtschaftliches Wohlergehen der Gemeinden und ländliche Lebensgrundlagen, verbesserter Zugang zu Nahrungsmitteln, Sicherheit und Ernährungsqualität, Kreislaufsysteme und reduzierte Verschwendung (Rodale Institute 2014; Elevitch et al. 2018; Al-Kaisi & Lal 2020; Newton et al. 2020; Giller et al. 2021).

Entsprechende Konzepte werden bisher überwiegend von Praktikern entwickelt und öffentlich präsentiert. Auf internationaler Ebene gibt es mehrere bekannte Landwirte, die ihre regenerativen Konzepte und Höfe in Vorträgen, Filmen oder Büchern vorstellen (z. B. Brown 2018; Perkins 2019; Savory 2013). Basierend auf den dort beschriebenen Erfolgen haben diese starken Einfluss auf die Szene und ihr Verständnis des Begriffs. Mögliche landwirtschaftliche Systeme, die die angestrebten Ziele der regenerativen Landwirtschaft abbilden, können konservierende Bodenbearbeitung, ökologischer Landbau, Agroforstwirtschaft, Beweidung auf mehreren Weiden, Permakultur und Wiederverwilderung umfassen (Burgess et al. 2019). Innerhalb dieser können viele einzelne Praktiken angewendet werden (Tabelle 1 zeigt einige Beispiele).



Operative Kategorie	Praktische Maßnahmen
Management & Planung	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ganzheitliches Management</li><li>- unter Berücksichtigung des landwirtschaftlichen Kontexts und der regionalen Bedingungen</li><li>- Betriebsplanung mit Fokus auf die Ressource Wasser (Keyline-Design)</li><li>- Von der Gemeinschaft unterstützte Landwirtschaft</li></ul>
Inputs & Materialflüsse	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kreislaufwirtschaft auf landwirtschaftlicher und regionaler Ebene</li><li>- Verwendung von Kompost</li><li>- Komposttee</li><li>- Pflanzenkohle, Terra-Preta</li><li>- Fermentationsprodukte</li><li>- Holzige Biomasse und frischer Baumsplitt</li><li>- Gezielter Einsatz von Mykorrhiza</li><li>- Bodenanalyse und Düngung nach Albrecht/Kinsey</li></ul>
Übergreifende Landnutzung	<ul style="list-style-type: none"><li>- Erhöhung der Pflanzenvielfalt</li><li>- Reduzierung synthetischer Einsätze (Spritzmittel und Düngemittel)</li><li>- Arbeit mit Pferden</li><li>- Agroforstwirtschaft</li><li>- Managementmuster gemäß Keyline-Design</li><li>- Natural Sequence Farming</li><li>- Wiederaufbau</li></ul>
Acker- und Gemüseanbau	<ul style="list-style-type: none"><li>- Breite Fruchtfolgen</li><li>- Belassung von Ernte- und Wurzelreste auf der Oberfläche</li><li>- Gelegentliches Pflügen, Direktsaat, minimale Bodenbearbeitung, Direktsaat</li><li>- Permanente Bodenbedeckung: Zwischenfrüchte, Untersaat, Zwischenfrüchte, Mulchsysteme, Gründüngung</li><li>- Permanent lebende Wurzeln im Boden</li><li>- Mischkulturen</li></ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsatz mehrjähriger Kulturen (z. B. mehrjähriges Getreide)</li> <li>- Integration von Tieren in den Ackerbau</li> <li>- Biointensiver Gemüseanbau („Market Gardening“)</li> </ul>
Tierhaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- als wesentliches Element</li> <li>- Tiere als Gestalter von Ökosystemen</li> <li>- Erhöhung der Vielfalt der Nutztiere</li> <li>- Ganzheitliches Beweidungsmanagement: adaptives Rotationsbeweidungsmanagement, Mobgrazing, ganzheitlich geplante Beweidung</li> <li>- Weideanbau</li> </ul>
<p><i>Tabelle 1: Überblick über mögliche praktische Maßnahmen einer regenerativen Wirtschaft. Strukturiert nach möglichen Anwendungsfeldern innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebs (Eigene Zusammenstellung und Gliederung; Quellen: Brown 2018; Burgess et al. 2019; Fortier 2014; General Mills 2021; LaCanne und Lundgren 2018; Merfield 2019; Newton et al. 2020; Perkins 2019; Rodale Institute 2014; Savory and Butterfield 2017; Shephard 2013)</i></p>	

Das Rodale Institute (2014) argumentiert, dass die Landwirtschaft durch RA zu einem „wissensintensiven Unternehmen“ statt zu einem „chemikalien- und kapitalintensiven (ibid)“ wird, was einen Wandel in der Denkweise und in ganzheitlichen Lebensmittelsystemen anstelle der isolierten Anwendung von Praktiken, die C binden könnten, erfordert. Das stärkste und einheitliche Prinzip, das RA von anderen alternativen Landwirtschaften unterscheidet, ist jedoch der Fokus auf organischen Kohlenstoff (SOC) im Boden zur Speicherung von Kohlenstoff (C) und zur Verbesserung der Bodengesundheit.

### Synthetische Inputs

Der ursprüngliche Begriff der regenerativen Landwirtschaft vom Rodale Institute beinhaltet keinen spezifischen Standpunkt zu synthetischen Inputs. Während viele argumentieren, dass der Einsatz synthetischer Düngemittel, Pestizide und Insektizide nicht Teil regenerativer Systeme sein kann, argumentieren Befürworter reduktionistischerer RA-Ansätze, dass minimale Bodenstörungen und damit C-Sequestrierung nur mit synthetischen Inputs möglich sind (z. B. Giller et al. 2015; Regenerative). Bio-Allianz 2018). Als Reaktion auf die Uneinigkeit über synthetische Inputs bezeichnet das Rodale Institute, das ursprünglich den Begriff „regenerative Landwirtschaft“ prägte, ihn nun ausschließlich als „regenerative biologische Landwirtschaft“ (Rodale Institute 2014). Darüber hinaus gibt es Strömungen, die Methoden wie CRISPR/Cas9 als Potenzial für RA sehen.



## Exkurs: Bodengesundheit

Laut Mitchell et al. (2019) basiert das Konzept der Bodengesundheit auf der Wahrnehmung des Bodens als lebende biologische Einheit, die das Pflanzenwachstum beeinflusst und mit dem Wohlergehen von Tieren, Menschen und Ökosystemen verknüpft ist. Es ist mit der Dynamik des organischen Kohlenstoffs im Boden und der Nährstoffversorgung im Kontinuum Boden-Pflanze-Atmosphäre verbunden und konzentriert sich auf die langfristige Ernährungssicherheit. Giller et al. (2021) erwähnen, dass der Bodengesundheit im Zusammenhang mit RA mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird, und obwohl dies etwas Positives sein kann, nach dem man streben kann, nennen sie es einen problematischen Begriff, der abstrakt ist und spezifiziert werden muss, um messbar zu sein.

## Eine kurze Geschichte der alternativen Landwirtschaft

Im Laufe des letzten Jahrhunderts sind verschiedene Bewegungen hin zu alternativen Landwirtschafts- und Ernährungssystemen entstanden. Es werden verschiedene Themen behandelt, einige grundlegender und umfassender, andere innerhalb der bestehenden Branche. RA hat große Teile seiner heutigen Bedeutung von der Agrarökologie, der Bio-Bewegung und neueren Erkenntnissen in der Bodenkunde geerbt. Es stellt sich die Frage, ob und wie sich RA von anderen Agrarsystemen unterscheidet, wie es zu Überschneidungen kommt und warum dieses Konzept in letzter Zeit auf so große Begeisterung stößt. Die Bewertung der Relevanz von RA in der Landschaft alternativer Landwirtschaften erfordert die Kenntnis ihrer Geschichte und Entwicklung.

Viele der oben genannten Praktiken finden sich auch in konventionellen oder anderen Landwirtschaftssystemen und gelten allgemein als gute landwirtschaftliche Praktiken (Giller et al. 2015). Häufig werden auch andere alternative Agrarsysteme offen einbezogen. Terra Genesis International bezieht beispielsweise die Designperspektive aus Permakultur und Agrarökologie ein (Hermani 2020). Die Agrarökologie wird aufgrund ihres hohen Potenzials bezüglich der C-Sequestrierung häufig einbezogen, und wenn die Integration tierischer oder geschlossener Nährstoffkreisläufe in die Definition einbezogen wird, stützt sie sich häufig auf ganzheitliche Managementpraktiken (Soloviev & Landua 2016). Giller et al. (2021) argumentieren, dass die Neuausrichtung anderer alternativer Landwirtschaftsformen durch RA zu Verwirrung statt Klärung in der öffentlichen Debatte führt und von wesentlicheren Herausforderungen ablenkt. RA könnte jedoch das Potenzial haben, die ideologische Kluft zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Lagern zu überbrücken und sie unter der Prämisse der Bodengesundheit und C-Sequestrierung zu vereinen. Einige der unten genannten Landwirtschaftssysteme können als eines unter anderen innerhalb der RA betrachtet werden, wobei eine erhöhte SOM (Soil Organic Matter) ihre Schnittmenge darstellt. Bossio et al. (2020) weisen darauf hin, dass RA, ökologischer Landbau, Agrarökologie, klimafreundliche Landwirtschaft, Agroforstwirtschaft und Permakultur keine



sich gegenseitig ausschließenden Systeme sind und in bestimmten Regionen erhebliche positive Auswirkungen auf den SOC (Soil Organic Carbon) haben können.

### Bio-Landwirtschaft

Der ökologische Landbau im Sinne der Generalversammlung der International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) (2008) „basiert auf ökologischen Prozessen, Biodiversität und Kreisläufen, die an die örtlichen Gegebenheiten angepasst sind, und nicht auf der Verwendung von Betriebsmitteln mit nachteiligen Auswirkungen“ (Übersetzung: CI). Das bedeutet, dass auf synthetische Stoffe wie synthetische Düngemittel, Pestizide, Herbizide und Zusatzstoffe sowie auf gentechnisch verändertes Saatgut verzichtet wird. Der Fokus liegt auf einem standortspezifischen Ökosystemmanagement zur Vorbeugung von Schädlingen und Krankheiten sowie zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (FAO 2021c) und basiert auf den vier Prinzipien Gesundheit, Ökologie, Fairness und Fürsorge (IFOAM 2021).

Organics Europe (2023) beschreibt in einem aktuellen Positionspapier die Gemeinsamkeiten von regenerativer und ökologischer Landwirtschaft, macht aber auch klar, dass die Verwendung des Begriffs „regenerativ“ problematisch sei, da er nicht gesetzlich geschützt sei. Darüber hinaus verbietet RA in vielen Definitionen keine synthetischen Stoffe und GVO (gentechnisch veränderter Organismus), was es für industrielle Agrarunternehmen einfacher macht, den Begriff zu missbrauchen. Andererseits findet sich der Fokus der RA auf Ergebnissen wie der Erhöhung des SOC oder der Artenvielfalt nicht in den Bio-Standards und könnte Biobauern dazu inspirieren, ihre Praktiken zu verbessern. Kernprinzipien des ökologischen Landbaus wie Fairness sowie Ernährungssouveränität und -gerechtigkeit sind selten Teil des Verständnisses der regenerativen Landwirtschaft von Unternehmen, was einen wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Konzepten darstellen kann. Sie kommen zu dem Schluss, dass der Einsatz erneuerbarer Energien in der Politik und im Marktumfeld auf den EU-Bio-Verordnungen basieren soll.

### Agrarökologie

Der Begriff Agrarökologie tauchte erstmals in den 1930er Jahren in wissenschaftlichen Publikationen auf und beschrieb zunächst eine wissenschaftliche Disziplin. In den 1980er Jahren tauchten unter demselben Namen verschiedene landwirtschaftliche Praktiken auf, die oft mit sozialen Bewegungen verbunden waren, die nach der Grünen Revolution gegen die industrialisierte Landwirtschaft entstanden. Agrarökologie ist weltweit in unterschiedlichen Kontexten und Maßstäben präsent und bezieht sich heute entweder auf eine wissenschaftliche Disziplin, eine landwirtschaftliche Praxis oder eine gesellschaftspolitische Bewegung (Wezel et al. 2009).

Die Agrarökologie zeichnet sich durch Bottom-up-, regionale und kontextspezifische Konzepte aus, die autonome Produzenten mit praktischem (traditionellem) Wissen als Akteure des Wandels betrachten (Gliessman 2020). Die Agrarökologie legt den Schwerpunkt auf eine verbesserte funktionelle Biodiversität in räumlicher und zeitlicher Dimension, um Produktion und Rentabilität aufrechtzuerhalten. Dazu gehört auch, Ökosystemfunktionen bestmöglich zu nutzen und die biologische Regulierung zu verbessern (Francis & Wezel 2015; Gliessman 2020).



Die regenerative Landwirtschaft ähnelt in vielerlei Hinsicht der Agrarökologie, obwohl sie sich weniger auf die gesellschaftspolitischen Themen konzentriert, die in der Agrarökologie diskutiert werden. Die regenerative Landwirtschaft hingegen konzentriert sich stärker auf den Klimaschutz und den Aufbau von Böden.

### Permakultur

Der Begriff Permakultur ist ein Kunstwort aus den Wörtern "permanent" und "Agrikultur" und wurde von David Holmgren und dann von Professor Bill Mollison geprägt. Holmgren definiert Permakultur als „bewusst gestaltete Landschaften, die die in der Natur vorkommenden Muster und Beziehungen nachahmen und gleichzeitig eine Fülle an Nahrungsmitteln, Ballaststoffen und Energie zur Deckung lokaler Bedürfnisse liefern.“ (Holmgren 2002a) (Übersetzung: CI). Es gibt also zwei Hauptelemente: erstens die Nachahmung natürlicher Ökosysteme für den menschlichen Gebrauch und zweitens die Optimierung des Systems, sodass Erträge mit minimalem Aufwand erzielt werden können und Ökosystemfunktionen über ihre gewöhnliche Leistung hinaus erweitert werden (Krebs & Bach). 2018). Darüber hinaus betrachtet die Permakultur Landnutzungssysteme als eng mit sozialen Systemen verbunden und stützt sich auf die ethischen Grundsätze der Sorge um die Erde, der Sorge um die Menschen und der gerechten Verteilung (Holmgren 2002b).

Permakultur weist in ihrer praktischen Umsetzung viele Analogien zu anderen alternativen Landwirtschaftssystemen auf, die einen ressourceneffizienten, pestizidfreien Landwirtschaftsansatz mit biologischer Regulierung, hoher Artenvielfalt und lokalem Nährstoffkreislauf anstreben (Krebs & Bach 2018).

Spezifisch für die Permakultur ist der Fokus auf den Designprozess und nicht auf bestimmte Techniken (Morel et al. 2019).

### Konservierende Landwirtschaft

Das Phänomen der Dust Bowl der 1930er Jahre in Nordamerika war die Ursache für eine massive Boden- und Wasserdegradation, die durch großflächige maschinelle Bodenbearbeitung noch verstärkt wurde. Es löste no-till, minimum tillage, ridge tillage und ähnliche Ansätze zur Bekämpfung der Bodenerosion und des Entweichens von Kohlenstoff durch Wind aus (Mitchell et al. 2019). In den 1960er und 1970er Jahren wurden in der Landwirtschaft hochwirksame Herbizide, die Einbringung von Düngemitteln und die Direktsaat eingeführt, wodurch die Notwendigkeit der Bodenbearbeitung verringert wurde. Darüber hinaus begann die US-Regierung, Anreize für Direktsaatsysteme zu schaffen, und in den 1990er Jahren kamen herbizidresistente gentechnisch veränderter Pflanzen auf den Markt, was die Bewegung hin zu einer reduzierten Bodenbearbeitung weiter verbreitete (Giller et al. 2015).

Heutzutage ist die konservierende Landwirtschaft vor allem in Amerika und Australien auf großen, hoch technisierten Höfen beliebt. Nach Angaben der European Conservation Agriculture Federation (ECAAF) werden etwa 3,3% des Ackerlandes und der Anbauflächen in Europa als konservierende Landwirtschaft bewirtschaftet, wobei Belgien mit 0,03% die



niedrigsten Adoptionsraten und Finnland mit 21,3% die höchste Rate aufweist, aber die meisten europäischen Länder liegen unter 10% (ECAAF 2021), in den USA im Mais-, Soja-, Weizen- und Baumwollanbau bei etwa 40% (Wade et al. 2015).

Die konservierende Landwirtschaft basiert auf drei Hauptprinzipien: minimale Bodenstörung (oder Direktsaat), die Aufrechterhaltung einer kontinuierlichen Bodenbedeckung und Fruchtfolgen mit einer Diversifizierung der Pflanzenarten. Dadurch soll die Bodenqualität insgesamt verbessert werden: Biologische Prozesse werden gefördert, die dazu beitragen, die organische Bodensubstanz, die Bodenstruktur, die Wasserretention und die Nährstoffnutzungseffizienz zu erhöhen und Bodenerosion und Wasserverdunstung zu reduzieren. Vorteile neben der Bodenschonung sind geringere Produktionskosten im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung durch Kraftstoff- und Arbeitseinsparungen. Wack (2021) stellte außerdem fest, dass es durch regenerative Anbaustrategien zu zusätzlichem Arbeitsaufwand und weniger Flexibilität kam, obwohl eine minimale Bodenbearbeitung praktiziert wurde. Die konservierende Landwirtschaft führt zu einer Akkumulation von SOC nahe der Oberfläche, da der Boden nicht durchmischt ist. Die Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Sequestrierung im Boden bleiben jedoch vage. Wenn Hülsenfrüchte Teil der Fruchtfolgen sind, könnten sie dazu beitragen, CO<sub>2</sub> in größeren Tiefen zu binden (Giller et al. 2015).

Während sich konservierende Landwirtschaft und ökologischer Landbau traditionell aufgrund des umfangreichen Einsatzes von Herbiziden in der konservierenden Landwirtschaft gegenüberstehen, gibt es auch biologische Minimal- oder Nicht-Inversions-Bodenbearbeitungssysteme, die Stress ohne synthetische Inputs bewältigen.

Die Unterscheidung zwischen konservierender Landwirtschaft und regenerativer Landwirtschaft ist nicht immer klar. Einige Autoren geben an, dass Letzteres eine Kombination aus Ersterem und ganzheitlicher Beweidung ist, manchmal mit biologischen Prinzipien. Andere argumentieren, dass die konservierende Landwirtschaft zwar den aktuellen Zustand des Bodens erhalten will, die regenerative Landwirtschaft ihn jedoch verbessern möchte (Hermani 2020). Burgess et al. (2019) kommen zu dem Schluss, dass die konservierende Landwirtschaft als eines von anderen Systemen innerhalb der regenerativen Landwirtschaft angesehen werden kann.

### **Ganzheitliches Management / Ganzheitliches Weidemanagement**

Ganzheitliches Management und ganzheitliches Weidemanagement sind Konzepte, die in den 1970er Jahren vom Biologen Allan Savory etabliert wurden, obwohl ähnliche Ideen bereits in den 1920er Jahren aufkamen (Nordborg & Roos 2016). Große Bekanntheit erlangte er 2013 durch seinen TED-Vortrag „How to fight desertification and reverse climate change“. Savorys Behauptungen erhielten viel Beifall, wurden aber auch scharf kritisiert, weil sie übertrieben und wissenschaftliche Beweise fehlten. Ein ganzheitliches Management wird auch häufig von Befürwortern der RA befürwortet. Das Weidemanagement im Allgemeinen verfolgt drei Ziele: erstens eine höhere Produktivität und Artenvielfalt durch Ruhen wichtiger Arten, zweitens eine geringere Weideselektivität und drittens eine gleichmäßigere Verteilung der Tiere (Briske et al. 2008; Nordborg & Roos 2016). Ganzheitliches Management ist ein Entscheidungs- und Planungsrahmen, „um mit dem Netz der Komplexität zu arbeiten, das in der Natur existiert,



um wichtige soziale, ökologische und finanzielle Überlegungen in Einklang zu bringen“ (Savory Institute 2021) (Übersetzung: CI), bei dem eine ganzheitliche Beweidung im Mittelpunkt steht. Ganzheitliche Beweidung basiert auf dem Ansatz der Rotationsbeweidung, einer Methode, bei der davon ausgegangen wird, dass die Beweidung von in kleinen Herden gehaltenen und häufig bewegten Nutztieren degradiertes Boden regenerieren kann. Dies ist eine Nachahmung der „natürlichen Beweidung“ wilder Pflanzenfresser, die versuchen, Raubtieren auszuweichen.

Ganzheitliche Beweidung oder Bewirtschaftung wird oft als Managementtechnik oder -instrument in der regenerativen Landwirtschaft erwähnt. Manchmal werden auch die Begriffe regenerative Beweidung oder Ranching verwendet.

### Agroforstwirtschaft

Laut World Agroforestry (ICRAF) ist „Agroforstwirtschaft das Zusammenspiel von Landwirtschaft und Bäumen, einschließlich der landwirtschaftlichen Nutzung von Bäumen“ (ICRAF 2021) (Übersetzung: CI). Bäume bieten in natürlichen Ökosystemen viele Vorteile, vor allem die ökologische Stabilität. Die Anforderungen im Zusammenhang mit der Landwirtschaft können vielfältig sein und umfassen Bäume auf Höfen, Landwirtschaft in und entlang von Wäldern und die Produktion von Baumfrüchten, z. Kakao oder Kaffee. Agroforstwirtschaft fördert die Bildung eines Systems aus verschiedensten Nischen, die das Ökosystem stabilisieren und biologisch vielfältig machen (Leakey 2017b). Bäume können Viehfutter, Treibstoff, Nahrung, Düngung, Holz, Medizin, Schutz, Schatten und andere Ökosystemdienstleistungen bereitstellen. und sie sind auch von soziokulturellem, ästhetischem und religiösem Wert. Darüber hinaus ist die Tierhaltung häufig in Agroforstsysteme integriert (ICRAF 2021).

Die vielseitige Nutzung von Bäumen kann langfristige Konzepte zur Minderung des Klimawandels liefern, den Verlust der biologischen Vielfalt verringern, die Ernährungssicherheit erhöhen (Ramachandran Nair 2014) sowie degradierte Böden wiederherstellen und CO<sub>2</sub> unter und über der Erde binden, was sie zu einer Alternative zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung macht. (Ollinaho & Kröger 2021).

Allerdings besteht, wie bei RA, die Gefahr einer Übernahme des Begriffs durch große Agrarunternehmen und Treiber der Waldschädigung (Ollinaho & Kröger 2021).

Zusammenfassend kann die Agroforstwirtschaft als eigenständiges Landnutzungskonzept oder als Maßnahme unter vielen in der regenerativen Landwirtschaft interpretiert werden.

### Climate-smarte Landwirtschaft (oder klimaresiliente Landwirtschaft)

Climate-smarte Landwirtschaft stellt eine Reihe von Strategien und Maßnahmen zur Umgestaltung landwirtschaftlicher Systeme dar, um die Ernährungssicherheit in einem sich verändernden Klima zu gewährleisten. Es handelt sich um einen iterativen Prozess, der darauf abzielt, Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu bewältigen und Wege für eine nachhaltige Transformation zu finden (Lipper et al. 2014; Steenwerth et al. 2014). In der climate-smarten Landwirtschaft gibt es drei Hauptziele: „sustainably increasing agricultural productivity and incomes; adapting and building resilience to climate change; and



reducing and/or removing GHG emissions, where possible" (FAO 2021a). Daher ist eine climate-smarte Landwirtschaft ergebnisorientiert und konzentriert sich auf die Anpassung an den und die Minderung des Klimawandels. (Lipper et al. 2014). Viele ihrer Ziele sind ähnlich wie die von RA, doch traditionell stehen Digitalisierung und Prozessorientierung bei RA nicht im Fokus.

### Carbon Farming

Es gibt mehrere, manchmal widersprüchliche Definitionen von Carbon Farming. Laut der Europäischen Kommission (2021): „Carbon farming can be defined as a green business model that rewards land managers for taking up improved land management practices, resulting in the increase of carbon sequestration in living biomass, dead organic matter and soils by enhancing carbon capture and/or reducing the release of carbon to the atmosphere, in respect of ecological principles favourable to biodiversity and the natural capital overall.“ Die finanziellen Anreize können aus öffentlichen oder privaten Quellen kommen und Landwirte entweder für ihre Bewirtschaftungspraktiken belohnen, die die Speicherung von atmosphärischem Kohlenstoff erhöhen, oder für die tatsächliche Menge an gebundenem Kohlenstoff. Toensmeier (2016) beschreibt Carbon Farming als „a system of increasing carbon in terrestrial ecosystem[s] for adaptation and mitigation of climate change, [to] enhance ecosystem goods and services and trade carbon credits for economic gains.“ Toensmeiers Veröffentlichung *The Carbon-Farming-Solution* ist eines der herausragendsten Bücher, wenn es darum geht, Forschung zur Kohlenstoffsequestrierung mit RA-Praktiken zu verknüpfen (Hermani 2020). Streng genommen handelt es sich beim Carbon Farming also nicht um einen landwirtschaftlichen Ansatz, sondern um ein Geschäftsmodell, bei dem Landwirte für die Leistung der Kohlenstoffbindung entlohnt werden. Dadurch werden Landwirte dazu angeregt, Praktiken umzusetzen, die Kohlenstoff reduzieren und binden, einschließlich aktiver (IPCC 2019) oder positiver (Toensmeier 2016) Anpassung an den Klimawandel. Einige erweiterte Definitionen umfassen CO<sub>2</sub>-Kompensationen, bei denen die Kohlenstoffbindung z. B. durch eine Vergütung belohnt wird. Auch höhere Produktpreise oder der Verkauf von Zertifikaten an Unternehmen mit hoher Emission haben diesen Effekt (Toensmeier 2016). CO<sub>2</sub>-Ausgleichszahlungen können das Potenzial haben, Praktiken zu fördern, die die Kohlenstoffbindung erhöhen und andere Ökosystemleistungen verbessern, aber es hat sich gezeigt, dass sie stattdessen z. B. Monokulturen fördern, was zu einem Rückgang der biologischen Vielfalt führt, natürliche Landschaften ersetzt und möglicherweise die Kohlenstoffbindung in Abhängigkeit von der ersetzten Landnutzung verringert. (Lin et al. 2013).

Zwar gibt es keine allgemeingültige Praxis zur Erstellung eines positiven CO<sub>2</sub>-Budgets, doch ist die Identifizierung entsprechender Praktiken notwendig. Die grundlegende Strategie besteht darin, eine kontinuierliche Bodenbedeckung aufrechtzuerhalten, gerentete Nährstoffe zu ersetzen, die Bodenstruktur und Rhizosphärenprozesse zu verbessern und die Ökoeffizienz durch Reduzierung allgemeiner Verluste (z. B. Bodenerosion, Kohlenstoffverlust oder Nährstoffauswaschung) zu verbessern (Lal et al. 2018). Beispiele für solche Praktiken sind die Integration von Stauden und Wäldern, eine erhöhte Pflanzenvielfalt, Zwischenfruchtanbau, Direktsaat oder konservierende Bodenbearbeitung, Agroforstwirtschaft, verbesserter Düngemittelleinsatz, Zugabe von organischen Zusatzstoffen



Kofinanziert von der  
Europäischen Union



und Pflanzenkohle (Lal 2004; Bates 2010; IPCC 2019). Im Allgemeinen sind die in Carbon Farming und in der RA erwähnten Praktiken ähnlich, aber Carbon Farming hat einen engeren und damit detaillierteren Fokus auf die Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Sequestrierung. Darüber hinaus erhöht Carbon Farming auch das Risiko eines sogenannten Kohlenstoff-Tunnelblick, ein Begriff, der von Jan Konietzko geprägt wurde (Stockholm Environment Institute 2022), Carbon Farming legt den Fokus ausschließlich auf Kohlenstoff, anstatt miteinander verbundene Themen wie Verlust der biologischen Vielfalt, übermäßigen Konsum, Ressourcenknappheit, Gesundheit usw. zu berücksichtigen.

Heutzutage führen eine Vielzahl von Start-ups und großen Agrarunternehmen sowie die EU und staatliche Institutionen Emissionszertifikate ein (siehe 4. Stakeholder und Zertifizierungen).



### Exkurs: Organischer Kohlenstoff im Boden (SOC)

Das organische Kohlenstoff im Boden macht etwa 58 % der organischen Bodensubstanz (SOM) aus, die aus einem breiten Spektrum heterogener toter und lebender organischer Verbindungen unterschiedlicher Größe mit unterschiedlichen Stabilitäts- und Zersetzungsgraden besteht. Natürlich steigt der SOC durch Kohlenstoffzugaben über die Photosynthese wachsender Pflanzen, verrottender pflanzlicher, tierischer und mikrobieller Materie und nimmt durch Zerfall, Mineralisierung und Erosion ab (Singh et al. 2018; Ramesh et al. 2019; De Moraes Sá et al. 2020).

Da die SOC-Bestände in landwirtschaftlichen Flächen durch Landnutzungsänderungen erheblich reduziert wurden, besteht die Möglichkeit, den SOC durch verbesserte Bewirtschaftungspraktiken wiederherzustellen (Singh et al. 2018). Die Aufrechterhaltung höherer SOC erfordert langfristig ein verbessertes Management, da die SOC-Vorräte bei Einstellung wieder sinken können. Darüber hinaus hängt die Speicherkapazität von SOC weitgehend vom Klima, der Topographie und den Bodeneigenschaften ab. Eine grundlegende Strategie zur terrestrischen CO<sub>2</sub>-Sequestrierung zum Klimaschutz in der Landwirtschaft besteht darin, 1) den CO<sub>2</sub>-Eintrag zu erhöhen und 2) die mittlere Verweilzeit von Kohlenstoff im Boden zu maximieren (Lal et al. 2018).

Darüber hinaus kann nach einigen Jahren mit verbesserten Bewirtschaftungspraktiken ein neues Gleichgewicht bei hohen SOC-Werten erreicht werden, und fruchtbare Böden im gleichen Klima können eine höhere Kohlenstoffsättigung haben als degradierte Böden (Six et al. 2002).

### Die Bedeutung des organischen Kohlenstoffs im Boden (SOC)

Die Bedeutung von SOC liegt in seinem Potenzial zum Klimaschutz durch eine Kombination aus der Vermeidung von Kohlenstoffemissionen und der Speicherung von atmosphärischem CO<sub>2</sub> und der Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen. Dies kann durch eine Kombination aus der Verbesserung von Ackerflächen erreicht werden, sodass eine Landumwandlung für die Nahrungsmittelproduktion unnötig werden, sowie durch die aktive Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Flächen (Bossio et al. 2020).

Zu den landwirtschaftlichen Praktiken zur Erhöhung des SOC gehören mehrjährige Anbausysteme, reduzierte oder keine Bodenbearbeitung, Mulchanwendung, Mob-Grazing, Integration von Nutzpflanzen und Nutztieren sowie Cover Cropping. Eine weitere Möglichkeit, den Gehalt an organischem Kohlenstoff zu erhöhen, ist die Zugabe von Pflanzenkohle zum Boden, die 100 bis 1000 Jahre haltbar ist. Die meisten dokumentierten positiven Auswirkungen von RA auf die Bodengesundheit sind auf Verbesserungen des Gehalts an organischer Substanz (SOM) im Boden zurückzuführen (Toensmeier 2016). SOM erfüllt viele Funktionen im Boden und eine Erhöhung wird sich positiv auf die biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens auswirken, wie z. B. die Nährstoffversorgung, die Bodenstruktur, die Wasserhaltekapazität und das mikrobielle Bodenleben (Watts & Dexter 1997; Johnston et al. 2009). Zu den weiteren Vorteilen einer erhöhten SOM



gehören eine erhöhte Bodenfruchtbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaveränderungen, eine geringere Bodenerosion. Darüber hinaus erfordert ein erhöhter SOC keine zusätzliche Landfläche, minimiert den Wasser-Fußabdruck und entsprechende Praktiken sind leicht umsetzbar, da sie keine Landnutzungsänderungen erfordern (Bossio et al. 2020). Bossio et al. (2020) bezeichnen diese Möglichkeiten zur SOC-Verbesserung als „No-Regrets-Möglichkeiten“, da sie eine Vielzahl positiver Auswirkungen auf verschiedenen ökologischen und sozialen Ebenen haben.

Bossio et al. (2020) fanden heraus, dass CO<sub>2</sub> im Boden 25 % (oder 23,8 Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalent yr<sup>-1</sup>) des Potenzials natürlicher Klimalösungen ausmacht. 40 % dieses Potenzials lassen sich durch den Schutz bestehender Kohlenstoffspeicher im Boden erzielen, während 60 % durch den Wiederaufbau von Kohlenstoffvorräten entstehen. 47 % dieses Minderungspotenzials entfallen auf Landwirtschaft und Grünland, während der Rest auf Wälder und Feuchtgebiete entfällt. Weitere bodenbezogene Möglichkeiten zur Kohlenstoffbindung sind, neben einer verbesserten landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, Aufforstung, Wiederaufforstung und Kohlenstoffspeicherung in geernteten Holzprodukten (IPCC 2019) sowie Bäumen in Ackerland (Agroforstwirtschaft), der Wiederherstellung von Torf- und Küstenfeuchtgebieten sowie der Vermeidung der Umwandlung von Wald und Grasland und der Einsatz von Pflanzenkohle. Die regenerative Landwirtschaft ist eine der Chancen in einer langen Reihe von Maßnahmen, die erforderlich sind, um die Ziele von Klimaschutz und -anpassung zu erreichen. Nur eine schnelle Umsetzung und Kombination der oben genannten Praktiken und anderer Maßnahmen zur raschen Reduzierung der globalen Treibhausgasemissionen wird es ermöglichen, die globale Erwärmung unter 1,5 °C zu halten.

## Minderung und Dekarbonisierung

Ein großer Einfluss auf die Minderung des Klimawandels kann durch die Reduzierung landwirtschaftlicher Emissionen sowie durch die Reduzierung von Landnutzungsänderungen durch Erhöhung/Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit erzielt werden. In einer Studie des World Resources Institute anhand des GlobAgri-WRR-Modells wurde ein Potenzial zur Reduzierung der landwirtschaftlichen Emissionen um >70 % im Jahr 2050 berechnet. Dies kann durch die Ansprache verschiedener Sektoren innerhalb der Lebensmittelindustrie erreicht werden, z.B. durch Reduzierung von Lebensmittelverlusten und -verschwendung, Umstellung der Ernährung, Steigerung der Lebensmittelproduktion ohne Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen, Schutz und Wiederherstellung natürlicher Ökosysteme sowie Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion (Ranganathan et al. 2020). Letzteres kann z. B. durch eine verbesserte Qualität des Viehfutters zur Verringerung der CH<sub>4</sub>-Emissionen, die Verringerung der Stickstoffverluste aus dem Viehdung zur Minimierung der N<sub>2</sub>O-Emissionen, die Verringerung der N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen durch die Viehdungbewirtschaftung, aber auch durch die Steuerung der Stickstoffversorgung durch Boden- und Pflanzenuntersuchungen, die Minimierung der Brachezeit und die Vermeidung



von Düngemitteln auf Nitratbasis erreicht werden. (Ministerium für Energie, Umwelt und Klimaschutz 2023). IPCC (2019) betont auch, dass viele Reaktionen des Ernährungssystems, die auf den Klimaschutz abzielen, gleichzeitig Klimaanpassungsmaßnahmen sind. Beispiele hierfür sind die Anwendung von Pflanzenkohle, Agroforstwirtschaft, erhöhter SOM-Gehalt, verbessertes Wassermanagement, Anbaudiversifizierung, Rückstandsmanagement, Nutzpflanzen-Vieh-Systeme sowie eine verbesserte Tiergesundheit und Parasitenbekämpfung. Paustian et al. (2016) stellen beispielsweise Entscheidungshilfen für Praktiken zur Treibhausgasminderung in Ackerland bereit, die hilfreich sein können, um geeignete landwirtschaftliche Maßnahmen zu finden.

### Stakeholder & Zertifizierungen

Um die Szene rund um die regenerative Landwirtschaft zu verstehen, ist es hilfreich zu wissen, wer den Begriff aktiv nutzt und aus welcher Branche diese Personen kommen. Viele Berater, Organisationen und Verarbeiter bezeichnen ihren landwirtschaftlichen Ansatz als „regenerativ“, da es sich um einen ungeschützten Begriff handelt, der unabhängig von ihrer Rechtsform verwendet werden kann.

Es gibt zahlreiche politische Initiativen zum Klimaschutz und zur Bodensanierung. So hat sich die Europäische Union 2015 auf der Klimakonferenz (COP21) das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80-95 % (im Vergleich zum Emissionsniveau von 1990) zu reduzieren, und gleichzeitig den freiwilligen Plan "4 pro 1000" zur Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Vorräte in den Böden der Welt um 0,4 % pro Jahr aufgestellt. (Lal et al. 2018; Al-Kaisi & Lal 2020). Die EU hat im Jahr 2021 außerdem einen Prozess zur Zertifizierung der CO<sub>2</sub>-Speicherung eingeleitet, der weiter unten (*Kohlenstoffzertifizierungen*) beschrieben wird. Die Dringlichkeit des Klimaschutzes und die Notwendigkeit drastisch schnellerer Emissionsreduzierungen und Kohlenstoffbindungsstrategien werden im neuen IPCC-Bericht (IPCC 2021) hervorgehoben. Jede Tonne CO<sub>2</sub>-Emissionen trägt zur globalen Erwärmung bei und erfordert mindestens Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen, zusammen mit starken Reduzierungen anderer Treibhausgasemissionen, um die vom Menschen verursachte globale Erwärmung zu begrenzen (IPCC 2021). Seit 2021 Die EU arbeitet an einem Vorschlag für eine qualitativ hochwertige Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre.

Große Konzerne wie Nestlé, General Mills, Unilever, PepsiCo, aber auch Non-Food-Unternehmen wie Patagonia, Ecosia und The North Face, um nur einige zu nennen, investieren in sogenannte regenerative Unternehmen und den Emissions-Handel. Dadurch könnten große finanzielle Ressourcen freigesetzt werden, die die Transformation beschleunigen könnten. Nestlé beispielsweise plant, bis 2050 3,2 Milliarden Schweizer Franken für die eigene Klimaneutralität in diesem Sektor bereitzustellen (Reuters Money New 2020), und Cargill möchte „von Landwirten betriebene regenerative Landwirtschaftspraktiken und -systeme auf 10 Millionen Hektar landwirtschaftlicher Fläche in den USA bis 2030 unterstützen“. (Cargill 2023) (Übersetzung: CI). Darüber hinaus gilt diese neue Form der Landwirtschaft auch als lukrative Investition. In den USA konnte im Bereich der regenerativen Landwirtschaft im Jahr 2019 bereits zwischen 70 Investmentfonds mit einer Gesamtinvestition von über 47,5 Milliarden US-Dollar gewählt werden. Allerdings gerät



dadurch die Grundlage der Nahrungsmittelproduktion und zugleich der Schwerpunkt der regenerativen Landnutzung – der Boden – immer wieder zum Spekulationsobjekt. Anleger erwarten von solchen Anlagemöglichkeiten hohe Renditen (Electris et al. 2019).

In Australien und den USA hat die regenerative Landwirtschaft bereits Einzug in die universitäre Lehre gehalten. Beispielsweise wird an der Southern Cross University ein Bachelorstudiengang mit entsprechendem Schwerpunkt angeboten. Der Kurs wird von der Regenerative Agriculture Alliance unterstützt. Die Inhalte reichen von allgemeinen Theorien und Praktiken bis hin zu Bodenmanagement, Agrarökologie, Landschaftsplanung und Humanökologie. An der privaten Maharishi-Universität gibt es vollständige Bachelor- und Masterstudiengänge. Darüber hinaus betreiben viele weitere Institute sowie einzelne Akteure Forschung, Vernetzungsplattformen oder/und Bildungsarbeit. Der 2015 gegründete gemeinnützige Dachverband „Regeneration international“ ist mit über 200 Partnern die größte Lobby für regenerative Landwirtschaft. Führende Positionen sind mit hochrangigen Persönlichkeiten aus der Agrar- und Ernährungsbranche besetzt. Allerdings ist die Qualität der bisherigen Forschung oft umstritten und wird meist nicht in die anerkannte Wissenschaftsgemeinschaft integriert, sondern von Interessengruppen vertreten oder zumindest begleitet (z. B. Briske et al. 2008).

### CO2 Zertifikate

Emissionsgutschriften können für Landwirte eine Möglichkeit sein, umweltfreundliche Bewirtschaftungspraktiken umzusetzen und dafür eine Vergütung zu erhalten. CO<sub>2</sub>-Gutschriften oder Zertifizierungssysteme könnten daher ein wirksames Instrument sein, um Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft zu verstärken. Es besteht jedoch wissenschaftliche Uneinigkeit darüber, ob die Erhöhung des Kohlenstoffs im Boden eine legitime Praxis für den Klimaschutz ist (z. B. Bradford et al. 2019, Ranganathan et al. 2020) und ob Kohlenstoffzertifikate der richtige Weg sind (z. B. Wiesmeier et al. 2020).



Kofinanziert von der Europäischen Union

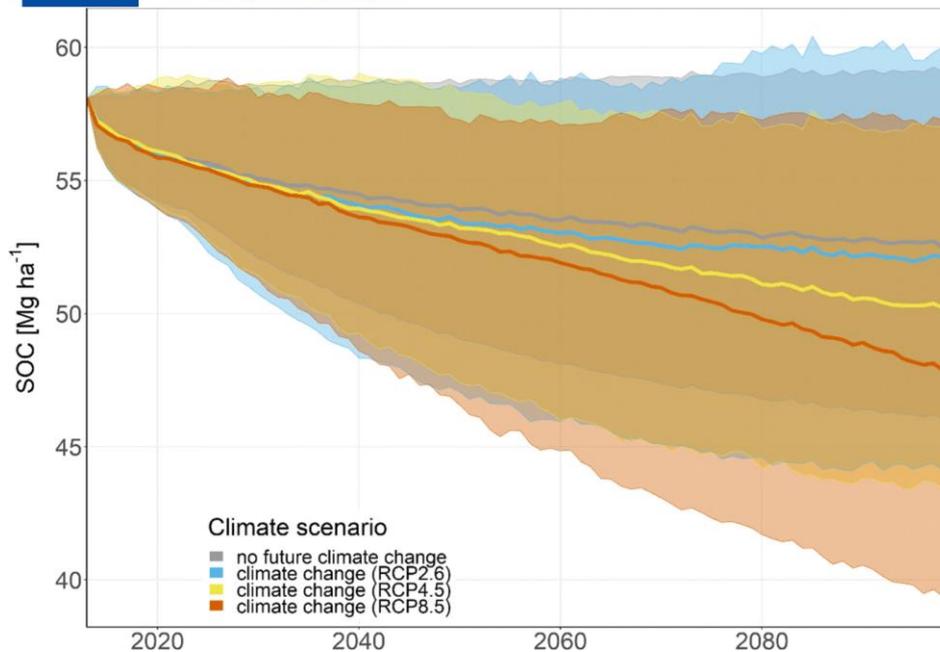


Abbildung 2: Projizierte mittlere Bestände an organischem Kohlenstoff (SOC) im Boden für deutsche Ackerflächen unter dem aktuellen Eintrag von organischem Kohlenstoff und dem 95%-Konfidenzintervall für das Ensemble aus Klimaprojektionen und SOC-Modellen. Die Klimaszenarien umfassten drei Klimawandelszenarien, die auf verschiedenen repräsentativen Konzentrationspfaden (RCPs) basierten, und ein Szenario ohne künftigen Klimawandel. Quelle: Riggers et al. (2021)

In einer Studie über steigende SOC-Vorräte in deutschen Ackerflächen haben Riggers et al. (2021) argumentiert, dass steigende Temperaturen zu erwärmungsbedingten SOC-Verlusten führen werden (siehe Abbildung 2), denen teilweise durch ein zunehmendes Pflanzenwachstum entgegengewirkt werden kann, dass jedoch ein erhöhter organischer Eintrag von etwa 9 Mg C/ha/Jahr erforderlich sein würde, um die jährlichen SOC-Bestände um 0,4 % zu erhöhen, wie von der 4-pro-1000-Initiative vorgeschlagen. Während eine Überkompensation der klimawandelbedingten SOC-Verluste durch verbessertes Management auf landwirtschaftlicher Ebene machbar sein mag, erscheint sie auf nationaler Ebene unrealistisch (Riggers et al. 2021). Darüber hinaus stehen einer theoretischen Kompensation von 8-15 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr in Deutschland ca. 106 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr aus der Landwirtschaft gegenüber, so dass nur etwa 10% der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen durch eine Erhöhung des SOC kompensiert werden könnten (Don 2022). (Don 2022). Über andere Vorteile des Bodenkohlenstoffs besteht jedoch fast vollständige Einigkeit (siehe auch: Die Bedeutung des organischen Bodenkohlenstoffs (SOC) oben).

Die Finanzierung kann sowohl aus privaten Handelsmärkten als auch aus öffentlichen Mitteln wie der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU erfolgen. Der zunehmende Handel mit Emissionszertifikaten zwischen der Landwirtschaft und anderen Sektoren erlebt derzeit international einen enormen Aufschwung. Immer mehr Unternehmen drängen auf die

angestrebte Klimaneutralität ihrer Aktivitäten durch Kompensationsmaßnahmen im Agrarsektor, siehe dazu auch oben.

Problematisch ist auch, dass der Begriff „regenerativ“ wie oben dargelegt nicht geschützt ist und Unternehmen grundsätzlich ihre eigenen Rahmenbedingungen dafür schaffen können, was dahinter steht. Dies birgt ein hohes Greenwashing-Risiko und ist insbesondere bei der Ausstellung von Zertifikaten gefährlich. Die EU bereitet derzeit im Rahmen des European Green Deal einen Rahmen zur Schaffung eines standardisierten Marktes für Kohlenstoffzertifikate in der Landwirtschaft vor, der auf den sogenannten QU.A.L.I.TY-Kriterien (Quantifizierung, Zusätzlichkeit, langfristige Speicherung, Nachhaltigkeit) basiert (Europäische Kommission 2022).

Entscheidend ist die Definition eines Mindeststandards für die CO<sub>2</sub>-Zertifizierung auf Basis eines einheitlichen Standards. Wiesmeier et al. (2020) machten einen Vorschlag für sieben Grundsätze zur Gewährleistung einer guten Qualität von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, die sich teilweise mit den QU.A.L.I.TY-Kriterien der EU überschneiden:

#### **Grundsätze zur Gewährleistung einer guten Qualität von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten**

- **Fairness:** Einige Böden können mehr Kohlenstoff speichern als andere, und insbesondere Böden mit niedrigem SOC-Gehalt aufgrund der Erschöpfung in der Vergangenheit haben das größte Potenzial. Das Gebot der Fairness stellt sicher, dass dies bei der Ausstellung von Zertifikaten berücksichtigt wird.
- **Reversibilität:** Sobald die Maßnahmen eingestellt werden, werden die SOC-Werte wahrscheinlich wieder auf das vorherige Niveau sinken. Um die CO<sub>2</sub>-Speicherung sicherzustellen, müssen Maßnahmen langfristig umgesetzt werden. Eine Möglichkeit sind dauerhafte, naturnahe Strukturen wie Bäume oder Hecken.
- **Langfristigkeit:** Für den Klimaschutz ist nur Kohlenstoff relevant, der auf absehbare Zeit gespeichert wird.
- **Stickstoff-Emissionen:** Organische Bodensubstanz (SOM) enthält auch Stickstoff, der für die Pflanzenernährung wichtig ist. Wenn der Stickstoff jedoch nicht von wachsenden Pflanzen genutzt wird, werden Teile der OBS leicht für Mikroorganismen verfügbar und der Stickstoff wird in N<sub>2</sub>O-Emissionen, ein starkes Treibhausgas.
- **Zusätzlichkeit:** Nur Kohlenstoff, der zusätzlich zu den üblichen Geschäftspraktiken gespeichert wird, kann zertifiziert werden, andernfalls hätten die Kohlenstoffgutschriften keinen zusätzlichen Effekt. Kohlenstoff, der „sowieso“ (ohne Anrechnung) gespeichert würde, gilt also nicht für Emissionsgutschriften! Es stellt sich eine wichtige Frage: Wie definieren wir solche Grundlinien?



- **Verschiebungseffekte, Leakage:** Maßnahmen, die zur Kohlenstoffspeicherung umgesetzt werden, dürfen nicht unberücksichtigt zu Treibhausgasemissionen an anderer Stelle führen. Beispielsweise kann eine verringerte Produktivität zu einer Änderung der Landnutzung an anderer Stelle führen, um die fehlenden Erträge auszugleichen.

In Nordamerika wurde 2018 vom Rodale Institute eine Zertifizierung für regenerative Biobetriebe (ROC, Regenerative Organic Certification) als erster einheitlicher, transparenter Standard geschaffen. Diese versteht sich als Weiterentwicklung des ökologischen Landbaus und bewertet Betriebe anhand eines komplexen Kriterienkatalogs nach Bronze-, Silber- oder Goldstandards. Grundlage für die Bewertung sind Bodengesundheit, Tierschutz und soziale Gerechtigkeit (ROC 2021). Ein weiteres unter wissenschaftlicher Aufsicht entwickeltes Zertifikat wird vom Savory Institute für tierische Produkte aus der Weidehaltung verliehen. Ziel ist es, die Auswirkungen der Weidebewirtschaftung auf Ökosystemfunktionen (Bodengesundheit, Biodiversität, Wasserkreislauf, Mineralienkreislauf, Energiefluss und Gemeinschaftsdynamik) anhand definierter Indikatoren zu messen. Das Vorhandensein der beiden Zertifizierungen unterstreicht die im Vergleich zu Europa weit fortgeschrittene Entwicklung der regenerativen Landwirtschaft auf internationaler Ebene. Allerdings stellt sich die Frage, ob es wünschenswert ist, mehr Zertifizierungen auf einem Markt wie Europa anzubieten, wo Bio-Zertifizierungen weiter verbreitet sind als in den USA und die Verbraucherzielgruppe möglicherweise ähnlich ist. Darüber hinaus erfordern Zertifizierungssysteme eine kostspielige Infrastruktur, um ihre Gültigkeit sicherzustellen, die in der Regel von den Landwirten selbst getragen wird.

### Wissenschaftlicher Beweis

Um den Erfolg der Maßnahmen zu ermitteln, werden verschiedene Indikatoren vorgeschlagen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird (z. B. Luján Soto et al. 2020). Eine steigende Begeisterung für RA unterstreicht, dass Agrarwissenschaftler sich an der öffentlichen Debatte beteiligen und lernen müssen, ihre Einschätzungen zu diesem Thema besser zu kommunizieren (White & Andrew 2019; Giller et al. 2021). Bis vor Kurzem gab es nur wenige wissenschaftliche Veröffentlichungen, die sich mit dem Thema RA beschäftigten, aber aufgrund der steigenden Beliebtheit bei Praktikern und der großen medialen Aufmerksamkeit werden es immer mehr. Die wissenschaftliche Bewertung der in RA genannten Konzepte ist jedoch anspruchsvoll. Dies liegt unter anderem an der angestrebten Komplexität landwirtschaftlicher Systeme, die ganzheitlich betrachtet, dynamisch verstanden und iterativ gestaltet werden.

Die Kommunikation von Erfolgsgeschichten von Landwirt zu Landwirt kann ein sehr wirksames Mittel sein, um Veränderungen herbeizuführen (Rosenzweig et al. 2020). Oft klafft eine große Lücke zwischen wissenschaftlich belegten Fakten und Modellen einerseits und Versprechen und Aussagen einzelner Praktiker andererseits. Daher stehen viele Forscher den Versprechungen der regenerativen Landwirtschaft skeptisch gegenüber und reagieren zurückhaltend (z. B. McGuire 2018). Auf der Grundlage solcher Behauptungen lehnen einige Wissenschaftler die RA vollständig ab, während andere die Übertreibung anerkennen, ohne



die allgemeine Botschaft abzulehnen, und die Forscher auffordern, sie als Chance zu betrachten, neue Ansätze für landwirtschaftliche Systeme zu untersuchen (Toensmeier 2016; Hermani 2020). Abbildung 3 von Moyer et al. (2020) veranschaulicht ein Beispiel für ein solches vom Rodale Institute propagiertes Potenzial der regenerativen Landwirtschaft. In diesem Fall zeigt ein Balkendiagramm, dass das Kohlenstoffbindungspotenzial regenerativer Methoden auf globaler Ebene voraussichtlich die jährlichen globalen CO<sub>2</sub> Emissionen um 46% übersteigen wird (Abbildung 3).

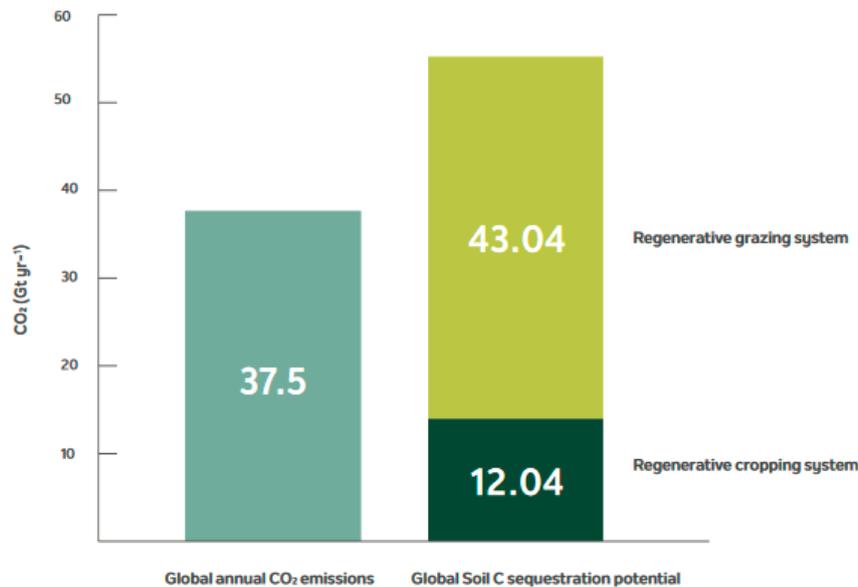


Abbildung 3: Kohlenstoffbindungspotenzial der weltweiten Einführung der regenerativen Landwirtschaft. Quelle: Moyer et al. (2020)

Aufgrund der zunehmenden Aufmerksamkeit für die regenerative Landwirtschaft ist ein reflektiertes Engagement der Forscher daher von entscheidender Bedeutung. Laut Giller et al. (2021) muss der philosophische Ballast klar von der agrarwissenschaftlichen Realität getrennt werden. Das Center for Regenerative Agriculture and Resilient Systems an der California State University beispielsweise möchte durch praxisorientierte Forschung und Vernetzung relevanter Akteure eine Wende im Ernährungssystem unterstützen, indem Forschungsergebnisse aufbereitet und öffentlich zugänglich gemacht werden.

Laut Merfield (2019) sind einzelne Projekte häufig von kommerziellen Interessen geprägt. Die Erforschung einzelner Methoden wie der Agroforstwirtschaft oder der konservierenden Bodenbearbeitung findet hingegen in großem Umfang statt und ist für ihre Qualität anerkannt. Allein auf der Plattform „sciencedirect“ sind beispielsweise für das Jahr 2020 unter dem Stichwort „No Till“ mehr als 26.000 Publikationen zu finden. Auch zu bisher weniger verbreiteten Praktiken wie der Verwendung von Komposttee gibt es vielfältige Forschungsergebnisse und auch hier unterschiedliche Ansätze etwa zur Herstellung und Verwendung. In verschiedenen Studien konnte eine Wirkung von Komposttee hinsichtlich Pflanzenwachstum und Pflanzengesundheit festgestellt werden. Einige Veröffentlichungen über das Kohlenstoffbindungspotenzial bestimmter Bewirtschaftungspraktiken wie Hecken,



Cover Cropping oder den Einfluss auf Wurzeln wurden kürzlich von Forschern des deutschen Thünen-Instituts veröffentlicht (z. B. Poeplau et al. 2021a, Poeplau et al. 2021b, Drexler et al. 2021). In einem vorläufigen Vergleich haben Montgomery et al. (2022) regenerative Praktiken mit einem höheren Gehalt an Vitaminen, Mineralien und sekundären Pflanzenstoffen in Nutzpflanzen im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft in Verbindung gebracht. Eine Metaanalyse von Jordan et al. (2022) analysiert Praktiken, die häufig erwähnt werden, wenn über RA gesprochen wird, und stellt insgesamt fest, dass eine Verringerung der Bodenbearbeitung und der Feldfruchtfolgen, nicht aber Cover Cropping, die SOC-Konzentration erhöhten. Weitere Ergebnisse aus Veröffentlichungen zum Bodenkohlenstoff werden im obigen Kapitel über Kohlenstoffzertifikate vorgestellt. Dennoch wird der Bedarf an mehr Forschung hervorgehoben (De Corato 2020), ebenso wie die Notwendigkeit einer engen Verbindung zwischen Landwirten, politischen Entscheidungsträgern und der akademischen Gemeinschaft weltweit (Singh et al. 2018).

### Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die regenerative Landwirtschaft als solche eine hochdynamische Szene ist, die derzeit viel Aufmerksamkeit erhält. Diese Form der Bodennutzung verspricht viele Vorteile und Lösungsstrategien für drängende Probleme. Daher steigen auch die Anforderungen an eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema einschließlich der Entwicklung geeigneter Methoden. Solange die Vorteile noch aus Vorträgen einzelner Pioniere abgeleitet werden müssen, ist es wichtig zu klären, ob diese durch unabhängige Forschungsprojekte bestätigt werden können. Die bisherigen Untersuchungen zu einzelnen Maßnahmen geben jedoch einen Eindruck vom Potenzial der regenerativen Landwirtschaft.



## ZUSAMMENFASSUNG- Regenerative Landwirtschaft

Bei der regenerativen Landwirtschaft handelt es sich um einen ungeschützten Begriff mit vielen unterschiedlichen Bedeutungen, der bei seiner Verwendung eine Definition erforderlich macht. Da unser Verständnis der regenerativen Landwirtschaft den Anforderungen einer transformativen Klimaanpassung entspricht, wird sie als konzeptioneller Rahmen innerhalb der ClimateFarming-Methode verwendet.

Der Begriff *regenerative Landwirtschaft* wurde erstmals in den 1980er Jahren geprägt, der Ursprung ist jedoch unklar. Etwa im Jahr 2015 kam er wieder in Gebrauch und kurz darauf begannen verschiedene Interessengruppen, den Begriff zu verwenden, was insbesondere bei Verbrauchern zu Missverständnissen führte.

Nach unserem Verständnis kann regenerative Landwirtschaft definiert werden als „*an approach to agriculture that uses soil conservation as a starting point for regeneration and contribution to **multiple provisioning, regulating and supporting services**, with the aim that this improves not only the **environmental** but also the **social and economic dimensions** of sustainable food production (Schreefel et al. 2020)*“, oder als „*an **ever-developing, complex, and context-dependent** agricultural approach aiming to restore and regenerate degraded land and **contribute to climate change adaptation** with mitigation co-benefits. In RA [regenerative agriculture], the soil is the entry point to **rethink food systems** with the aim of enhancing **biological, physical, chemical, as well as cultural ecosystem services** in response to ecological conditions and the climate crisis, on a local as well as a global level.*“ (Daverkosen und Holzknecht et al. 2022)

In diesem Sinne überschneidet sich die regenerative Landwirtschaft auch weitgehend mit Konzepten wie Permakultur, Agrarökologie, ökologischem Landbau, klimafreundlicher Landwirtschaft oder Carbon Farming. Die geförderten Praktiken sind oft ähnlich und könnten einfach als gute landwirtschaftliche Praxis angesehen werden. Während die regenerative Landwirtschaft synthetische Betriebsmittel wie Düngemittel, Pestizide oder Herbizide im Allgemeinen nicht ausschließt, plädieren viele Befürworter für ökologische Grundsätze oder bemühen sich, den Einsatz synthetischer Betriebsmittel auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Bodengesundheit und die Kohlenstoffspeicherung im Boden werden in vielen Definitionen als zentral angesehen und stehen auch im Einklang mit den Zielen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung. Während wissenschaftlich umstritten ist, ob der Kohlenstoff im Boden für Kohlenstoffzertifikate quantifiziert werden kann oder sollte, sind in den letzten Jahren zahlreiche Zertifizierungssysteme entstanden. Diese müssen kritisch beurteilt werden.

Klimaschutz und Klimaanpassung gehen Hand in Hand. Während ihre Ausgangspunkte unterschiedlich sind – Schutz zielt darauf ab, einen weiteren Klimawandel zu verhindern, zielt Anpassung auf die Anpassung an den gegenwärtigen oder kommenden Wandel –, ist ihr letztendliches Ziel dasselbe: ein angenehmes Leben für alle angesichts des Klimawandels



Kofinanziert von der  
Europäischen Union



zu ermöglichen.

## Referenzen

### Online

Regeneration International: <https://regenerationinternational.org/why-regenerative-agriculture/>

Rodale Institute:

<https://rodaleinstitute.org/why-organic/organic-basics/regenerative-organic-agriculture/>

The Carbon Underground:

<https://thecarbonunderground.org/our-initiative/definition/>

Climate Farmers:

<https://www.climatefarmers.org/definition-of-regenerative-agriculture/>

Savory Institute: <https://savory.global/holistic-management/>

Project Drawdown:

[https://drawdown.org/sites/default/files/pdfs/DrawdownPrimer\\_FoodAgLandUse\\_Dec2020\\_01c.pdf](https://drawdown.org/sites/default/files/pdfs/DrawdownPrimer_FoodAgLandUse_Dec2020_01c.pdf)

European Commission (on the CAP): [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en)

### Einige Zertifizierungen

Land to market programme: <https://www.landtomarket.com/>

EOV: <https://savory.global/land-to-market/eov/>

ROC: <https://regenorganic.org/resources/>

### Weitere Referenzen

Al-Kaisi, M.M. & Lal, R. (2020). Aligning science and policy of regenerative agriculture. Soil Science Society of America Journal, vol. 84 (6), pp. 1808-1820 John Wiley and Sons Inc. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20162>

Angarova, G., Ruka, T., Tshah, S., Mitambo, S., Guri, B., Frederick, K., Haslett-Marroquin, R. & Nelson, M.K. (2021). A message from 10+ Indigenous leaders: Regenerative Agriculture &



Permaculture offer narrow solutions to the climate crisis. Green Dreamer. Available at: <https://greendreamer.com/journal/indigenous-regenerative-agriculture-permaculture>

Beste, A. (2019): Comparing Organic, Agroecological and Regenerative Farming part 3 - Regenerative | ARC2020. Available at: <https://www.arc2020.eu/comparing-organic-agroecological-and-regenerative-farming-part-3-regenerative/#sdendnote6sym>

Bossio, D.A., Cook-Patton, S.C., Ellis, P.W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., Wood, S., Zomer, R.J., von Unger, M., Emmer, I.M. & Griscom, B.W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, vol. 3 (5), pp. 391-398. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>

Bradford, M.A., Carey, C.J., Atwood, L. *et al.* Soil carbon science for policy and practice. *Nat Sustain* **2**, 1070–1072 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0431-y>

Burgess P.; Harris J.; Graves A.; Deeks, L. (2019): Regenerative Agriculture: Identifying the Impact; Enabling the Potential. Report for SYSTEMIQ. Cranfield University, Bedfordshire <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/Regenerative-Agriculture-final.pdf>

Cargill (2023): Digging in: Cargill’s regenerative agriculture program brings healthier soil and profits to more European, U.S. farmers. Available at: <https://www.cargill.com/story/cargills-regenerative-agriculture-program-brings-healthier-soil> (last access: 14.6.23)

Codur, A.; Watson, J. (2018): Climate smart or regenerative agriculture? Defining climate policies based on soil health. Global Development and Environment Institute, Tufts University. Climate Policy Brief No. 9, Online on the Internet, URL: <https://sites.tufts.edu/gdae/files/2019/10/ClimatePolicyBrief9.pdf>

Department of Energy, Environment, and Climate Action (2023): Livestock methane and nitrogen emissions. Victoria State Government, Australia. Available at: <https://agriculture.vic.gov.au/climate-and-weather/understanding-carbon-and-emissions/livestock-methane-and-nitrogen-emissions>

Don, A. (2022): Nur die “große Lösung” funktioniert. DLG-Mitteilungen 5/2022. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/360257416\\_Carbon\\_Farming\\_Wer\\_von\\_Klimaschutz\\_im\\_Ackerbau\\_redet\\_und\\_damit\\_nur\\_die\\_CO2-Bindung\\_in\\_Boden\\_meint\\_ist\\_auf\\_dem\\_Holzweg\\_Zur\\_Klimalandwirtschaft\\_gehort\\_auch\\_die\\_Verringerung\\_von\\_Emissionen\\_die\\_von\\_der\\_La](https://www.researchgate.net/publication/360257416_Carbon_Farming_Wer_von_Klimaschutz_im_Ackerbau_redet_und_damit_nur_die_CO2-Bindung_in_Boden_meint_ist_auf_dem_Holzweg_Zur_Klimalandwirtschaft_gehort_auch_die_Verringerung_von_Emissionen_die_von_der_La)

Drexler, S., Gensior, A. & Don, A. Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Reg Environ Change* **21**, 74 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8>

European Commission (2021): Sustainable Carbon Cycles. Communication from the

Commission to the European Parliament and the Council. Available at:  
[https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-12/com\\_2021\\_800\\_en\\_0.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf)

European Commission (2022): European Green Deal: Commission proposes certification of carbon removals to help reach net zero emissions. Available at:  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_7156](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7156)

Giller, K.; Hijbeek, R.; Andersson, J.; Sumberg, J. (2021): Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on agriculture* (50:1), p. 13-25, DOI: 10.1177/0030727021998063

Gosnell, H.; Nicholas Gill, N.; Voyer, M. (2019): Transformational adaptation on the farm: processes of change and persistence in transitions to 'climate-smart' regenerative agriculture. *Global Environmental Change* (59), DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2019.101965

Heim, T. (2018). The Indigenous Origins of Regenerative Agriculture. National Farmers Union. Available at: <https://nfu.org/2020/10/12/the-indigenous-origins-of-regenerative-agriculture>

Hermani, C. (2020): Regenerative Agriculture and the Quest for Sustainability - Inquiry of an Emerging Concept (Master Thesis) Online at Internet URL:  
[https://www.researchgate.net/publication/348310091\\_Regenerative\\_Agriculture\\_and\\_the\\_Quest\\_for\\_Sustainability\\_-\\_Inquiry\\_of\\_an\\_Emerging\\_Concept\\_Master\\_Thesis](https://www.researchgate.net/publication/348310091_Regenerative_Agriculture_and_the_Quest_for_Sustainability_-_Inquiry_of_an_Emerging_Concept_Master_Thesis)

IPCC 2019: Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, Y. Xu, 2019: Food Security. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J.

IPCC (2021): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)].  
<https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>

Koehn, J. (2021). Monsanto, Big Food, and Big Ag Move to Co-opt the Organic and Regenerative Movement. Available at:

<https://educacionymedioscolaborativos.org/news/monsanto-big-food-and-big-ag-move-co-opt-organic-and-regenerative-movement-0>

LaCanne, C.; Lundgren, J. (2018): Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. PeerJ (6), Doi: 10.7717/peerj.4428

Lal, R. (2020): Regenerative agriculture for food and climate. Journal of Soil and Water Conservation, pp. 1-2

Lyle, J.T. (1994). Regenerative Design for Sustainable Development. John Wiley and Sons Inc.

Mang, P. & Reed, B. (2012). Regenerative Development and Design. pp. 1-34

McDonald, H., Freluh-Larsen, A., Lóránt, A., Duin, L., Andersen, S.P., Costa, G., Bradley, H. (2021): Carbon Farming. Making agriculture fit for 2030. Commissioned by the Committee on Environment, Public Health and Food Safety (ENVI),  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695482/IPOL\\_STU\(2021\)695482\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695482/IPOL_STU(2021)695482_EN.pdf)

McGuire, A. (2018): Regenerative Agriculture: Solid Principles, Extraordinary Claims. Online presence of Washington State University; College of Agriculture, Human and Natural Resources Science; Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources as Blog Online on the Internet, URL: <https://csanr.wsu.edu/regen-ag-solid-principles-extraordinary-claims/>

Merfield, C. (2019): An analysis and overview of regenerative agriculture. Report number 2-2019. The BHU Future Farming Centre, Lincoln, New Zealand. Online on the Internet, URL: <https://www.bhu.org.nz/future-farming-centre/ffc/information/misc/an-analysis-and-overview-of-regenerative-agriculture-2019-ffc-merfield.pdf>

Montgomery DR, Biklé A, Archuleta R, Brown P, Jordan J. 2022. Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming. PeerJ 10:e12848 <https://doi.org/10.7717/peerj.12848>

Moyer, J.; Smith, A.; Rui, Y.; Hayden, J. (2020): Regenerative agriculture and the soil carbon solution. Online on the Internet, URL: [https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Rodale-Soil-Carbon-White-Paper\\_v11-compressed.pdf](https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Rodale-Soil-Carbon-White-Paper_v11-compressed.pdf)

Newton, P.; Civita, N.; Frankel-Goldwater, L.; Bartel, K.; Johns, C. (2020): What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. Frontiers in Sustainable Food Systems (4), DOI: 10.3389/fsufs.2020.577723

Nordborg, M. & Roos, E. (2016). Holistic management - a critical review of Allan Savory's grazing method.

Poepflau, C., Don, A. (2015): Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover



crops – A meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 200, 33-41.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

Poeplau, C., Don, A., & Schneider, F. (2021). Roots are key to increasing the mean residence time of organic carbon entering temperate agricultural soils. *Global Change Biology*, 27, 4921–4934. <https://doi.org/10.1111/gcb.15787>

Ranganathan, J., Waite, R., Searchinger, T., Zions, J. (2020): Regenerative Agriculture: Good for Soil Health, but Limited Potential to Mitigate Climate Change. World Resources Institute. Available at: <https://www.wri.org/insights/regenerative-agriculture-good-soil-health-limited-potential-mitigate-climate-change>

Regenerative Organic Alliance (2021): Framework for Regenerative Organic Certified. Available at: [https://regenorganic.org/wp-content/uploads/2021/02/ROC\\_ROC\\_STD\\_FR\\_v5.pdf](https://regenorganic.org/wp-content/uploads/2021/02/ROC_ROC_STD_FR_v5.pdf)

Reuters Money News (2020): Nestle to spend big to cut carbon emissions while preserving profits. By Silke Koltowitz. Available at: <https://www.reuters.com/article/nestle-climate-idINKBN28D1NN> (last access: 14.6.23)

Robinson, J. & Cole, R.J. (2015). Theoretical underpinnings of regenerative sustainability. *Building Research & Information*, vol. 43 (2), pp. 133-143 Routledge.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.979082>

Rosenzweig, S.T., Carolan, M.S. & Schipanski, M.E. (2020). A Dryland Cropping Revolution? Linking an Emerging Soil Health Paradigm with Shifting Social Fields among Wheat Growers of the High Plains. *Rural Sociology*, vol. 85 (2), pp. 545–574. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ruso.12304>

Rumpel, C., Amiraslani, F., Bossio, D. *et al.* Studies from global regions indicate promising avenues for maintaining and increasing soil organic carbon stocks. *Reg Environ Change* **23**, 8 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10113-022-02003-0>

Savory Institute (2021). Managing complexity through Holistic Management. Available at: <https://savory.global/>

Schreefel, L.; Schulte, R.; de Boer, I.; Pas Schrijver, A.; van Zanten, H. (2020): Regenerative Agriculture - the soil is the base. *Global Food Security* (26), DOI: 0.1016/j.gfs.2020.100404

Stockholm Environment Institute (2022): It's time to move beyond "carbon tunnel vision". Available at: <https://www.sei.org/perspectives/move-beyond-carbon-tunnel-vision/>

Singh, B.P., Setia, R., Wiesmeier, M. & Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural management practices and soil organic carbon storage. *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling* Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00007-X>



Soloviev, E.; Landua, G. (2016): Levels of Regenerative Agriculture.  
Online on the Internet, URL: <http://www.terrigenesis.com/regenerative-agriculture/>

Toensmeier, E. (2016). The carbon farming solution: a global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security. Vermont: Chelsea Green Publishing.

Wack, J. (2021): Beurteilung der Praxistauglichkeit regenerativer Ackerbaustrategien. Eine qualitative Untersuchung. Masterarbeit am Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Witzenhausen. Universität Kassel.

Wade, T., Claassen, R., Wallander, S. (2015): Conservation-Practice Adoption Rates Vary Widely by Crop and Region, EIB-147, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Available at:  
[https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44027/56332\\_eib147.pdf](https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44027/56332_eib147.pdf)

Wiesmeier, M., Mayer, S., Paul, C., Helming, K., Don, A., Franko, U., Steffens, M., Kögel-Knabner, I. (2020). *CO<sub>2</sub> certificates for carbon sequestration in soils: methods, management practices and limitations*. BonaRes Series. DOI: 10.20387/bonares-ne0g-ce98



## Lektion 4: Verbindung zwischen der Regenerativen Landwirtschaft und dem ClimateFarming-Zyklus

Alena HolzknecHT, Janos Wack

In diesem Kapitel sollen die Fäden verbunden werden, die in den letzten Kapiteln zu Problemen und Herausforderungen in der Landwirtschaft, dem Klimawandelmanagement, der Klimaanpassung und der regenerativen Landwirtschaft gesponnen wurden. Warum ist die Umstellung der landwirtschaftlichen Praxis auf regenerative Methoden der Landwirtschaft Teil der Lösung zur Bewältigung des Klimawandels und der damit verbundenen Herausforderungen? Was brauchen wir zur Klimaanpassung? Warum sehen wir den Schlüssel eines zukünftigen Agrarsystems in der Klimaanpassung und wie setzen wir dies in Form einer regenerativen Landwirtschaft in die Praxis um? Warum passt der ClimateFarming-Zyklus zu diesen Zielen?

Bisher wurden Sie mit den folgenden globalen Herausforderungen konfrontiert:

- die Landwirtschaft als Quelle und Senke von Treibhausgasen (THG), die vom Klimawandel betroffen ist, und möglicherweise die Akteure im Bereich der Kohlendioxidbeseitigung sein können
- Die Grenzen des Planeten werden überschritten, und damit verlässt die Menschheit den sicheren Handlungsspielraum für Probleme wie Stickstoff- und Phosphorströme, Veränderungen des Landsystems und die Integrität der Biosphäre
- Bodendegradation als ernsthafte Bedrohung für die globale Ernährungssicherheit
- Abhängigkeit von externen Inputs in der Landwirtschaft wie Düngemitteln oder fossilen Brennstoffen, deren Marktpreise schwanken können oder die nur begrenzt verfügbar sind
- Die Nährstoffeffizienz ist in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen und hat einen Punkt erreicht, an dem die Zugabe von mehr (synthetischen) Nährstoffen nicht unbedingt zu höheren Erträgen führt
- Tierschutz, der in einem landwirtschaftlichen System, das oft hochspezialisiert ist und in dem Tierhaltung und Pflanzenbau oft strikt getrennt sind, ein ernstes Problem darstellt; auch die Tierhaltung wird stark von steigenden Temperaturen und Niederschlagschwankungen betroffen sein
- physikalische Faktoren des Klimawandels wie Hitze- und Dürrewellen, veränderte Niederschlagsmuster, abnehmende Süßwasserressourcen usw., die die Muster und Rhythmen der landwirtschaftlichen Produktion in Frage stellen



- Verlust der biologischen Vielfalt, der die Stabilität und Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen gefährdet
- Haustiere und Krankheiten, neue und alte, die sich schneller ausbreiten und leichter Pflanzen und Tiere angreifen können, die durch andere klimawandelbedingte Faktoren geschwächt sind
- Die Ernährungssicherheit leidet unter zunehmend unvorhersehbarem Wetter, Bodendegradation und vielen der oben genannten Faktoren
- Diese Herausforderungen und Zusammenhänge werden dadurch verschärft, dass das 1,5°C-Ziel nicht mehr erreicht wird

Alle diese Faktoren sind miteinander verbunden und hängen auf die eine oder andere Weise voneinander ab. Die Konzentration auf die isolierte Lösung eines oder mehrerer der oben genannten Probleme und die Vernachlässigung der anderen wird höchstwahrscheinlich nicht zum erwarteten Ergebnis führen. Aus diesem Grund ist ganzheitliches Denken die Grundlage für ein resilientes, produktives Agrar- und Ernährungssystem in Zeiten des Klimawandels und der hohen Nachfrage nach multifunktionaler Flächennutzung.

### Ähnliche Ausgangspunkte

Zwar gibt es keine einheitliche Definition der regenerativen Landwirtschaft (RA), gemeinsame Themen bei der Anpassung an den Klimawandel sind jedoch Multifunktionalität, Komplexität und ganzheitliches oder ökosystemares Denken, wie in zwei der in Kapitel 2 vorgestellten Definitionen formuliert.

“An approach to agriculture that uses soil conservation as a starting point for regeneration and contribution to **multiple provisioning, regulating and supporting services**, with the aim that this improves not only the **environmental** but also the **social and economic dimensions** of sustainable food production (Schreefel et al. 2020).”

“We define RA as an **ever-developing, complex, and context-dependent** agricultural approach aiming to restore and regenerate degraded land and **contribute to climate change adaptation** with mitigation co-benefits. In RA, the soil is the entry point to **rethink food systems** with the aim of enhancing **biological, physical, chemical**, as well as **cultural ecosystem services** in response to ecological conditions and the climate crisis, on a local as well as a global level (Daverkosen and Holzknecht et al. 2022)”.



Laut IPCC (2014) “adaptation is the process of adjustment to actual or expected climate and its effects. It is **not a one-time emergency response**, but a series of **proactive measures** to deal with the nexus of hazard (e.g. drought, sea level rise), exposure (e.g. less water in the South), and vulnerability (e.g. poverty or lack of education) [...].”

Sowohl das Konzept der Klimaanpassung als auch der regenerativen Landwirtschaft haben ähnliche Prämissen:

- Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit und wir müssen seine Folgen nicht nur verhindern, sondern auch bewältigen.
- Dies bedeutet einen Umgang mit komplexen Prozessen und Problemen, bei denen einfache Lösungen nicht funktionieren.
- Langfristige Auswirkungen sind größer als kurzfristige Vorteile.
- Es bedeutet, Komplexität anzunehmen und zu versuchen, die Zusammenhänge zwischen mehreren Faktoren zu verstehen.
- Notwendig sind Prozessorientierung, schrittweise Umsetzung von Maßnahmen, stetiges Lernen, Feedbackschleifen.
- Konfrontation mit großen Unsicherheiten
- Viele Akteure sind auf verschiedenen Ebenen beteiligt (Agrar – Märkte – Governance – etc.).
- Die Forderung lautet, sich vom „Business-as-usual“ zu lösen.

Allerdings können die Prinzipien sowohl der Klimaanpassung als auch der regenerativen Landwirtschaft falsch interpretiert werden und dazu führen, dass noch mehr Probleme entstehen, wie etwa die Investition in ressourcenintensive Kühl- oder Bewässerungssysteme, die die Produktion von Produkten aufrechterhalten, die nicht in das Klima oder Ökosystem passen. (siehe Kapitel 3 zur Fehlanpassung). Aus diesem Grund sind Richtlinien und übergeordnete Prozesse erforderlich, um die Wahrscheinlichkeit solcher Fehlanpassungen zu minimieren und gleichzeitig den erforderlichen Aufwand möglichst gering zu halten (z. B. mit dem ClimateFarming-Zyklus).

### Ansprüche und Bedürfnisse

RA möchte ganzheitlich, kontextualisiert, flexibel, multifunktional und unterstützend gegenüber natürlichen Ressourcen sein. Gleichzeitig muss die Anpassung ganzheitlich, kontextualisiert, flexibel, multifunktional und unterstützend für die natürlichen Ressourcen sein. Diese beiden Konzepte sind zwei Seiten einer Medaille. Beide betrachten den Klimawandel als eine „Basislinie“, mit der wir uns auseinandersetzen müssen, anstatt daran zu zweifeln. Durch die Umsetzung der regenerativen Landwirtschaft auf systemischer Ebene können somit die Anforderungen der Klimaanpassung im Agrarsektor selbst, aber auch in vielen anderen klimarelevanten Themenbereichen erfüllt werden. Beispielsweise kommt es



immer wieder zu extremen Wetterereignissen, deren Auswirkungen jedoch durch die Schaffung von Landschaften abgemildert werden können, die mehr Wasser aufnehmen und speichern können und somit z.B. Überschwemmungen verhindern. Die landwirtschaftliche Produktivität (im herkömmlichen Sinne, d. h. Ertrag/ha bei hochspezialisierten Kulturen oder Hochleistungstieren) wird wahrscheinlich an einigen Orten zurückgehen, aber unter Berücksichtigung von Saisonalität, Lokalisierung, Ernährungsumstellung, Lebensmittelverschwendung usw. muss dies nicht zwangsläufig zu einer geringeren Quantität oder Qualität der Nahrungsmittelressourcen führen.

Daher liegt der Fokus eher auf langfristiger Stabilität als auf kurzfristigen Vorteilen. Über die kurzfristige Planung hinaus sind die Schaffung und Förderung sich selbst entwickelnder Systeme sowie ein integrativer Ansatz für natürliche Prozesse von zentraler Bedeutung in der regenerativen Landwirtschaft. Dies entspricht zugleich der Grundlage für eine langfristig erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel.

### Verfolgung ähnlicher Ziele

Beide Konzepte haben Ziel der Resilienz, indem sie alle möglichen Faktoren in der Gleichung berücksichtigen und ein ganzheitliches (oder systemisches) Verständnis ihrer Vernetzung erreichen. Eines der vier Anpassungsprinzipien der EU ist „mehr systemische Anpassung“, da der Klimawandel auf allen Ebenen der Gesellschaft spürbar sein wird und daher Überlegungen zur Klimaresilienz durchgängig berücksichtigt und Teil jeder getroffenen Entscheidung werden müssen (Europäische Kommission 2021). Das Gleiche gilt für Entscheidungen im Rahmen einer regenerativen landwirtschaftlichen Denkweise.

Wie lässt sich also die Theorie in Maßnahmen umsetzen? Die Komplexität solch vielschichtiger Probleme erfordert einen dynamischen, iterativen Prozess von Bewerten – Planen – Umsetzen – Überwachen/Bewerten – Neuplanen usw. Ähnliche Ansätze werden z.B. im [ClimateAdapt-Tool](#) verwendet (Europäische Kommission und Europäische Umweltagentur 2021) oder im Farm Management Flow Chart (Kay et al. 2016), das im nächsten Kapitel beschrieben wird. Dieser Prozess ist von zentraler Bedeutung für die Entwicklung wirksamer Maßnahmen und erfordert Wissen und häufig neue Fähigkeiten. Es ist wichtig, die Besonderheiten und Kontexte des einzelnen Betriebs(systems) zu respektieren und diese in die Planung und Durchführung zu integrieren. Nutzen Sie außerdem die Multifunktionalität, um Synergien zu maximieren und mehrere Herausforderungen gleichermaßen zu bewältigen.

### Maßnahmen-Beispiele

Abhängig vom Verständnis von der regenerativen Landwirtschaft lassen sich ihre Prinzipien nur schwer wissenschaftlich nachweisen, da sie darauf abzielen, die Komplexität zu erfassen, und die Naturwissenschaft häufig den Ausschluss von Hintergrundfaktoren, dem so genannten "Rauschen", erfordert, um deduktive Methoden zur Erkennung von Mustern anwenden zu können. Einfacher ausgedrückt ist es schwierig zu beweisen, dass eine bestimmte Maßnahme die gewünschte Wirkung hat, wenn gleichzeitig eine Reihe anderer Maßnahmen umgesetzt werden und viele Faktoren (wie Boden, Klima usw., die außerhalb der



Kontrolle eines Landwirts oder Forschers liegen), sich ebenfalls auf das Ergebnis auswirken. Wir stützen uns hauptsächlich auf anekdotische Beweise dafür, dass Landwirte eine höhere Widerstandsfähigkeit, eine gute Bodenstruktur, einen geringeren Druck durch Schädlinge und Krankheiten usw. erzielen, indem sie eine Vielzahl von Maßnahmen umsetzen, die gut auf ihren Kontext abgestimmt und in ihren Dienstleistungen und Angeboten miteinander verbunden sind. Integrierte Bewirtschaftungssysteme sind zwar schwieriger zu messen und zu bewerten, doch es laufen komplexere Studien, da die Forscher Wege finden, mit mehrdimensionalen Systemen umzugehen. Es gibt Belege für einzelne Maßnahmen (und einige Kombinationen davon), die in einigen Definitionen der regenerativen Landwirtschaft enthalten sind, insbesondere Praktiken wie reduzierte Bodenbearbeitung, cover crops und mehrjährige Cropping Systeme.

Zwei einigermaßen gut erforschte Maßnahmen sind der Einsatz von Pflanzenkohle und der Aufbau von Agroforstsystemen. Beide können, wenn sie im richtigen Kontext umgesetzt werden, Beispiele für eine Entwicklung hin zur regenerativen Betriebsführung sein. Es ist erwiesen, dass Pflanzenkohle und Agroforstwirtschaft durch ihre Multifunktionalität und ihren Ökosystemansatz den Anforderungen eines ganzheitlichen regenerativen Agrarsystems gerecht werden. Darüber hinaus können sie für die Klimaanpassung und -minderung von hoher Relevanz sein (z. B. Lehmann et al. 2021, Schmidt et al. 2021, Quandt et al. 2023, Rolo et al. 2023). Maßnahmen wie der Einsatz von Pflanzenkohle und Agroforstwirtschaft greifen somit die oben beschriebenen theoretischen Grundlagen auf und zeigen, dass diese in die Praxis übertragbar sind. Abschließend bleibt die Frage, wo und wie solche Maßnahmen umgesetzt werden können. Dabei kann der ClimateFarming-Zyklus eine große Hilfe sein.

### **Beispiel:**

### **Pflanzenkohle**

Ähnlich wie beim Begriff regenerative Landwirtschaft gab es eine beträchtliche Anzahl wissenschaftlicher Publikationen, die in den letzten 10 Jahren das Wort „Pflanzenkohle“ im Titel enthalten (siehe z. B. [Der Bericht zum Stand der Kohlendioxidentfernung](#) 2023). Die Zugabe von Pflanzenkohle zu Böden wird oft als regenerative Maßnahme bezeichnet und es wurden viele verschiedene Vorteile festgestellt, wie z. B. eine höhere Wasserspeicherkapazität, ein gesteigertes Wurzelwachstum, eine aktivere mikrobielle Aktivität usw. – und das alles sind auch Klimaanpassungsstrategien. Ein weiterer wichtiger Faktor ist, dass es eine langfristige Wirkung hat und somit dazu beitragen könnte, mehr Kohlenstoff im Boden zu speichern.

### **Beispiel: Agroforstwirtschaft**

Agroforstwirtschaft wird seit vielen Jahrhunderten praktiziert, sodass ihre Auswirkungen sowohl in recht alten bewirtschafteten Ökosystemen als auch in neu entstandenen Ökosystemen gemessen werden können. Zu den Chancen der Agroforstwirtschaft gehören eine erhöhte Artenvielfalt, mehr Bodenpilze, eine höhere Wasserhaltekapazität, ein kühlender Effekt auf Landschaften, sie können als Windschutz wirken und bei guter Bewirtschaftung sogar höhere Erträge auf derselben Fläche bringen. Ebenso wie Pflanzenkohle haben sie in der Regel auch eine langfristige Wirkung, die wichtig ist, um für den Klimaschutz relevant zu sein.



## Der ClimateFarming-Zyklus

Um alle oben genannten Überlegungen und in einem praktischen Ansatz zu verdichten, wurde der ClimateFarming-Zyklus entwickelt. Es handelt sich um einen effizienten Prozess, der auf einer halbstandardisierten Methode basiert und sich an einzelne Betriebe, Standorte und Personen richtet. In einem ersten Schritt wird der Zustand des Betriebs beurteilt. Dabei werden alle Beteiligten des Betriebs einbezogen und sie können Impulse geben, um neue Ideen zu finden oder Chancen aus einem neuen Blickwinkel zu betrachten. Der ClimateFarming-Zyklus hilft, schrittweise eine Strategie zur Klimaanpassung zu entwickeln. Der Maßnahmenkatalog ist das praktische Bindeglied zwischen der Betriebsbeschreibung und der theoretischen Herangehensweise an die Umsetzung der Strategie. Dies soll zu einer erweiterten Version der regenerativen Landwirtschaft führen, bei der mehr Faktoren als üblich berücksichtigt werden. Durch die Fokussierung auf den landwirtschaftlichen Kontext und einen intensiven iterativen Planungs- und Bewertungsprozess werden die Unsicherheiten und Dynamiken des Klimawandels berücksichtigt und vollständig integriert. Die Halbstandardisierung sorgt für höhere Effizienz und weniger willkürliche Entscheidungsfindung, was zu mehr Transparenz führt.

## Einige Gedanken zur Umsetzung

Hier sollen einige Einschränkungen für die ClimateFarming-Methode erwähnt werden. Es ist ein zeit- und wissensintensiver Prozess, der Engagement erfordert, um gut zu funktionieren. Zudem besteht derzeit ein Mangel an Praxisorientierung, der teilweise durch die Einbindung externer Berater für bestimmte Leistungen gemildert werden kann. Die Auswirkungen sind schwer zu messen und die Ergebnisse hängen stark von den Nutzern (sowohl Landwirten als auch Beratern) ab. Die Maßnahmen können zu Veränderungen führen, die über die Auswirkungen der Kombination von Maßnahmen hinausgehen, für deren Bewertung ein tiefes Verständnis des Ökosystems erforderlich ist.

Außerdem besteht immer ein Konflikt zwischen dem Betriebsalltag und langfristigen Plänen, Strategien und Maßnahmen, und es müssen bestimmte Zeitfenster für den anfänglichen Prozess, aber auch für die regelmäßige Bewertung im Anschluss vorgesehen werden. Ein weiterer Konflikt besteht in der Forderung nach einfachen Lösungen einerseits (z. B. „Klimalandwirtschaft“) und andererseits den komplexen Problemen, die vielfältige und kontextabhängige Analysen und Lösungen erfordern (Klimawandel), bei denen allgemeine Leitlinien nicht anwendbar sind.

Die Konsequenz daraus ist, dass die Begleitung eines solchen Prozesses für Berater eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Dafür braucht es Generalisten, die bei Bedarf unterschiedliche Spezialisten einbeziehen können. Wie viele Betriebe werden diesen potenziell langwierigen Prozess durchlaufen, um ihre Klimastrategie umzusetzen?

**Aber was ist die Alternative? Die Alternative ist „Weiter so wie bisher“, was in Wirklichkeit keine Alternative mehr ist. Die Auswirkungen auf das Klima sind hier und jetzt, und der Agrarsektor kann es sich nicht leisten, tatenlos zuzuschauen.**



Das übergeordnete Ziel dieses Projekts besteht darin, (wissenschaftliches) Wissen und Theorien zugänglicher und praxisorientierter zu machen, *ohne* dadurch den Wert für die Bewältigung der komplexen Herausforderungen des Klimawandels und der Landwirtschaft zu mindern. Basierend auf den bisherigen Inhalten werden einfache, eindimensionale Lösungen, wenn überhaupt, nur kurzfristige positive Effekte bringen.

Durch die Implementierung des ClimateFarming-Zyklus auf Demonstrationsbetrieben wird die Theorie weiter in die Praxis umgesetzt und ein kontinuierliches Feedback zur Methode bereitgestellt. Außerdem werden die theoretischen Hintergründe erlebbar gemacht und die Auswirkungen auf einen landwirtschaftlichen Betrieb aufgezeigt. Daher macht dieses Netzwerk von Demonstrationsbetrieben die Skalierung des ClimateFarming-Zyklus und damit die Klimaanpassung machbar.

### ZUSAMMENFASSUNG – Verbindung von regenerativer Landwirtschaft und ClimateFarming-Zyklus

Sowohl das Konzept der Regenerativen Landwirtschaft als auch die Klimaanpassung haben ähnliche Ausgangspunkte und Prämissen, z.B.

- den Klimawandel als komplexe Herausforderung anzuerkennen, dem mit proaktiven Maßnahmen begegnet werden muss,
- Bewertung langfristiger Auswirkungen gegenüber kurzfristigen Vorteilen,
- Prozessorientierung, Feedbackschleifen und ständiges Lernen,
- kein „Business as Usual“,

sowie ähnliche Bedürfnisse:

- Kontextualisierung und Flexibilität,
- Multifunktionalität

und ähnliche Ziele:

- ganzheitlicher und systemischer Ansatz,
- Zusammenhänge verstehen.

Daher sehen wir Potenzial in der Anwendung des ClimateFarming-Zyklus, um die Prinzipien der Klimaanpassung auf reale landwirtschaftliche Bedingungen zu übertragen.



## Referenzen

European Commission (2021): Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change. Brussels, Communication 2021/82. Available at:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2021:82:FIN>

European Commission and European Environment Agency (2021): The Adaptation Support Tool – Getting started. Available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/adaptation-support-tool>

IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C.A. *et al.* Biochar in climate change mitigation. *Nat. Geosci.* **14**, 883–892 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00852-8>

Quandt, A., Neufeldt, H., Gorman, K. (2023): Climate change adaptation through agroforestry: opportunities and gaps, *Current Opinion in Environmental Sustainability*,

Volume 60. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101244>

Rolo, V., Rivest, D., Maillard, É., & Moreno, G. (2023). Agroforestry potential for adaptation to climate change: A soil-based perspective. *Soil Use and Management*, 00, 1– 27. <https://doi.org/10.1111/sum.12932>

Schmidt, H.-P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., & Cayuela, M. L. (2021). Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13, 1708– 1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>

# Extra: Theoretischer Hintergrund: Methoden und Grundlagen

Nils Tolle, Alena Holzknacht, Janos Wack

## Strategisches Management

*Strategic Farmmanagement* (Barnard und Nix, 1979; Kay et al., 2016) ist ein iterativer Prozess. Er wird verwendet, um individuelle Betriebsziele zu formulieren, Ressourcen innerhalb des Betriebs zuzuweisen und die Betriebsergebnisse zu überwachen. Dabei werden mögliche Entwicklungsstrategien des Betriebs erarbeitet. Grundsätzlich kann dieser Prozess mit Ansätzen zur Anpassungsplanung (z. B. *Adaptation Action Cycles*; Park et al., (2012)) verglichen werden, da wesentliche Elemente ähnlich sind. *Strategic Farmmanagement* umfasst:

1. (Problem-)Analyse und Beschreibung
2. Festlegung von Leitprinzipien (qualitativ) und Zielen (quantitativ, messbar)
3. Beurteilung interner und externer Rahmenbedingungen (z. B. SWOT-Analyse)
4. Darauf aufbauend: Sammlung und Planung möglicher Lösungsansätze
5. Umsetzung der geplanten Maßnahmen
6. Überwachung, Steuerung und Neuplanung (Soll-Ist-Vergleich)

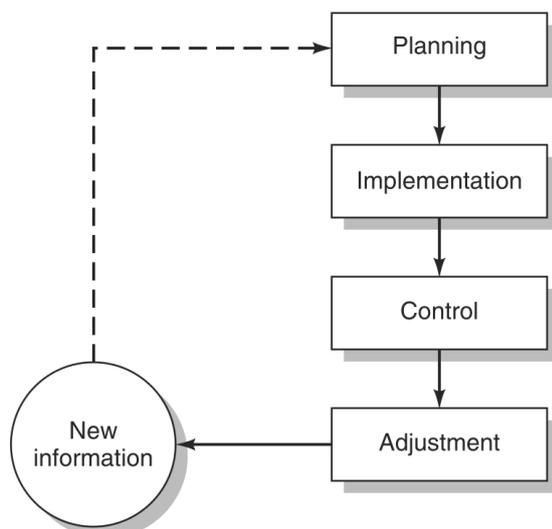


Abbildung 1: Flussdiagramm des Farmmanagements, entnommen aus Kay et al. (2016)

Dem klassischen strategischen Farmmanagement fehlen jedoch die Instrumente und Mechanismen, um mit „tiefer“ Unsicherheit umzugehen. Um dieses Problem anzugehen, wird das klassische strategische Farmmanagement um Ansätze erweitert, die auf „Decision-making under Deep Uncertainty“ (DMDU) basieren.



## Entscheidungsfindung unter Deep Uncertainty (DMDU) und dem Dynamic Adaptive Pathways Approach (DAPP)

Akkumulierte Unsicherheiten, die als Unsicherheitskaskade bezeichnet werden (Refsgaard et al., 2013), stellen eine erhebliche Herausforderung für die Anpassungsplanung an den Klimawandel im Allgemeinen und für die Landwirtschaft im Besonderen dar. Der Klimawandel kann als Quelle tiefer Unsicherheit bezeichnet werden (Jones et al., 2014).

Die DAPP-Methode ist ein Ansatz, der auf den Erkenntnissen der DMDU basiert. Ursprünglich im Kontext der Wasserwirtschaft entwickelt, kann die Methode auch als Grundlage für Anpassungsprozesse in anderen Sektoren genutzt werden (Haasnoot et al., 2019). DAPP wurde von Haasnoot et al. entwickelt. (2013) und basiert auf der Kombination von Elementen der *Adaptiven Politikgestaltung* und der *Anpassungspfade*. Dieser Ansatz befasst sich mit dem Problem der tiefen Unsicherheit, indem er es dem Benutzer ermöglicht, „proaktiv eine flexible Anpassung im Laufe der Zeit zu planen [...]“, je nachdem, wie „[...] sich die Zukunft tatsächlich entwickelt“ (S. 73, Haasnoot et al. , 2019) (Übersetzung: CI). DAPP verwendet einen sogenannten Pathway-Ansatz, bei dem ein Anpassungspfad eine Abfolge und Kombination verschiedener Anpassungsmaßnahmen im Laufe der Zeit ist. Verschiedene mögliche Anpassungspfade werden in einer sogenannten Pathway Map dargestellt. Diese Pathway Maps eröffnen dem Benutzer einen Entscheidungsraum, in dem jeder Pfad potenziell in der Lage ist, ein vorgegebenes Ziel zu erreichen. Es gibt jedoch Unterschiede zwischen den Pfaden hinsichtlich Effizienz, Nebenwirkungen und Robustheit (Marchau et al., 2019).

Das DAPP wird als Grundlage für den ClimateFarming-Zyklus verwendet, da es den Herausforderungen der Klimaanpassung auf Betriebsebene entspricht. Laut Haasnoot et al. (2019) ist das DAPP besonders nützlich, wenn:

- der Planungshorizont grundsätzliche Unsicherheiten enthält.
- es eine große Vielfalt an Anpassungsmaßnahmen gibt, die unterschiedliche und flexible Maßnahmen ermöglichen
- Maßnahmen relativ schnell umgesetzt werden können und das System ausreichend Zeit dafür hat
- die Laufzeit von Maßnahmen im Vergleich zum Planungshorizont relativ kurz ist .
- Entscheidungen erhebliche Pfadabhängigkeiten mit sich bringen können .
- es Indikatoren gibt , die auf sich ändernde Trends hinweisen.

Darüber hinaus ist der Pathway-Ansatz besonders wertvoll, da er komplexe Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der verschiedenen Anpassungsmaßnahmen in den Pathway Maps visualisiert und so für den Nutzer erlebbar macht. Die Vorteile dieses Ansatzes werden im Schritt 4 des ClimateFarming-Zyklus *Landwirtschaftliche Klimastrategie* genutzt. Durch die Visualisierung wird der Nutzer dazu motiviert, kurz- und langfristige Maßnahmen gemeinsam zu denken und zu planen. Dies reduziert das Potenzial für Fehlanpassungen und die damit verbundene Überwachung verstärkt die Wahrnehmung der Anpassung als kontinuierlichen Prozess. Der aktive Umgang mit Unsicherheit fördert auch die



Berücksichtigung potenziell schwerwiegenderer Auswirkungen des Klimawandels (Haasnoot et al., 2019).

## Zusätzliche Methode 1: TOWS-Analyse

Die TOWS-Analyse übersetzt die Erkenntnisse der SWOT-Analyse in mögliche Antwortstrategien (Wehrich, 1982). Dabei kann es sich bereits um konkrete Anpassungsmaßnahmen an konkrete Klimaauswirkungen handeln, muss es aber nicht. Diese Methode lohnt sich in einem komplexen landwirtschaftlichen System, z.B. einem Hof mit verschiedenen Produktionszweigen.

Eine TOWS-Matrix ist vergleichbar mit einer SWOT-Matrix, enthält jedoch vier zusätzliche Blöcke, die sich auf die Wechselwirkungen der einzelnen SWOT-Elemente konzentrieren (*SO* = *Stärke/Chance*; *ST* = *Stärke/Gefährdung*; *WO* = *Schwäche/Chance*; *WT* = *Schwäche/Gefährdung*). Die Konzentration auf das Zusammenspiel der verschiedenen SWOT-Aspekte hilft bei der Ermittlung von Chancen für die Betriebsentwicklung (*S/O*), zeigt Möglichkeiten auf, wie auf externe Bedrohungen mit internen Stärken (*S/T*) reagiert werden kann oder wie interne Schwächen durch externe Chancen (*W/O*) ausgeglichen werden können. Schließlich kann das Zusammenspiel von Schwächen und Bedrohungen (*W/T*) aufzeigen, welche Kombination von negativen Faktoren besonders problematisch ist und durch Anpassungen angegangen werden muss.



Beispiel einer SWOT/TOWS-Analyse:

*SWOT*: Ein Beispielbetrieb identifiziert zunehmende Dürre als akute *Gefährdung*. Darüber hinaus stellen die Betriebsangehörigen fest, dass alle landwirtschaftlichen Sektoren anfällig für Dürre sind, was die *Schwäche* des Hofes zeigt. In der *SWOT*-Analyse wird zudem deutlich, dass die gewinnbringende Direktvermarktung von Rindfleisch eine große *Stärke* des Hofes ist. Gleichzeitig wird deutlich, dass es in der Nachbarschaft des Beispielbetriebs zwei landwirtschaftliche Quereinsteiger gibt, die sich für den Gemüseanbau interessieren und damit experimentieren, was als *Chance* kategorisiert wird.

*TOWS*: Aus dieser Kombination von Faktoren gehen die Betriebsmitglieder davon aus, dass ein neuer Betriebszweig, der weniger dürreanfällig ist, in den Betrieb integriert werden muss (*Gefahr*: Zunehmende Dürre + *Schwäche*: Hohe Dürreanfälligkeit). Basierend auf dem starken Direktmarketing (*Stärke*) und der Verfügbarkeit zusätzlicher Arbeitskräfte (*Chance*) entsteht die Idee, den Gemüseanbau mit einer Direktvermarktung als neuen Betriebszweig zu etablieren. Dadurch soll der Betrieb weiter diversifiziert und Betriebsverluste in anderen Produktionszweigen, insbesondere in Dürrezeiten, ausgeglichen werden.



Beispielhafte Kombination von SWOT/TOWS-Analyse mit Erkenntnissen der Klimafolgenforschung: Als mögliche Antwort auf die Dürreanfälligkeit eines Betriebs wurde in der TOWS-Analyse die Gründung eines neuen Produktionszweigs vorgeschlagen: Gemüseanbau mit Direktvermarktung. Natürlich waren sich die Betriebsangehörigen darüber im Klaren, dass die Bewässerung möglicherweise problematisch werden könnte, wenn die Niederschläge abnehmen und damit auch die Möglichkeiten zur Grundwasserneubildung oder Regenwassersammlung. Allerdings zeigte die regionale Klimaprojektion, dass den Klimamodellen zufolge auch langfristig kein signifikanter Rückgang der durchschnittlichen Niederschläge pro Jahr zu erwarten ist. Es besteht jedoch die Möglichkeit einer saisonalen Verschiebung – weniger Niederschläge in den Sommermonaten, mehr Niederschläge in den Wintermonaten. Aus diesen Informationen kamen die Betriebsangehörigen zu dem Schluss, dass der bewässerte Gemüseanbau das Potenzial hat, die Anfälligkeit des Betriebs gegenüber Dürre zu verringern und mögliche Klimaauswirkungen auch langfristig zu bewältigen. Voraussetzung dafür ist jedoch ein gutes Wassermanagement und der Ausbau der Regenwasserspeicher, insbesondere für die Wintermonaten.

## Zusätzliche Methode 2: SWOT-Analyse und Notfallmaßnahmen

Der Einsatz von SWOT-Analysen und Notfallmaßnahmen ist nicht ausschlaggebend für den Erfolg von Schritt 4 aus dem ClimateFarming-Zyklus und kann bei Bedarf übersprungen werden. Es wird jedoch betont, dass es sich um eine lohnenswerte Methode zur Bewertung der entwickelten Klimastrategie handelt, da sie die Betriebsangehörigen und den Berater dazu motiviert, den entwickelten Plan kritisch zu analysieren und herauszufinden, wie die Klimastrategie noch weiter verbessert werden kann.

Die SWOT-Analyse der Klimastrategie dient der Identifizierung von Unsicherheiten, neuen Schwachstellen und Chancen, die sich aus der Klimastrategie ergeben. Die Analyse ist die Grundlage für die Formulierung von Notfallmaßnahmen. Notfallmaßnahmen haben den Zweck, die Widerstandsfähigkeit des Betriebes zu erhöhen, indem sie den Erfolg absichern oder sich bietende Chancen nutzen. Es gibt drei Kategorien, nämlich defensive, korrigierende und chancenorientierte Maßnahmen. Laut Walker et al. (2019) werden diese Aktionen wie folgt definiert:

- Defensive Action (DA): Maßnahmen zur Unterstützung oder Absicherung des Erfolgs der Klimastrategie oder zur Bewältigung externer Herausforderungen, die den Erfolg der Klimastrategie gefährden



Beispielhafte Abwehrmaßnahme: Wenn eine landwirtschaftliche Klimastrategie den Bau einer Agrophotovoltaikanlage vorsieht, könnte der Landwirt vorab eine Gemeindeversammlung in der betroffenen Gemeinde einberufen, um frühzeitig



über das Projekt zu informieren und Unterstützung aus der Bevölkerung zu erhalten.

- Corrective Action (CA): Eine Korrekturmaßnahme ändert die landwirtschaftliche Klimastrategie als Reaktion auf neue Erkenntnisse oder geänderte Bedingungen, ohne ihre Gesamtziele zu ändern.



Beispiel für Korrekturmaßnahmen: Fortschritte in der Robotik ermöglichen eine bessere Unkrautbekämpfung im ökologischen Landbau. Dadurch können Bodenbearbeitung und Pflanzenauswahl verändert werden.

- Opportunity Action (OA): Eine Maßnahme, die ergriffen wird, um Chancen zu nutzen und die Wirksamkeit oder Widerstandsfähigkeit der landwirtschaftlichen Klimastrategie zu erhöhen



Beispielhafte Opportunity Action: Aufgrund einer Änderung der Gesetzeslage zur Förderung von Agroforstsystemen werden bestimmte Baumarten gefördert und andere nicht. Eine Neuplanung der Agroforstplantage mit den förderfähigen Bäumen wäre eine Korrekturmaßnahme (dies gilt natürlich nur, wenn diese Baumarten noch zum Standort, zum Klima und zum Betrieb passen).

Die Umsetzung von Notfallmaßnahmen wird durch die Überwachung ab Schritt 5 informiert.

### Zusätzliche Methode 3: Anpassungs-Tipping-Points und Opportunity-Tipping-Points (ATP und OTP)

In DAPP haben die einzelnen Anpassungsmaßnahmen, die einen Anpassungspfad bilden, unterschiedliche Adaptation Tipping Points (ATP). Ein ATP markiert den Punkt, an dem eine Maßnahme die vorgegebenen Ziele eines Systems nicht mehr erreichen kann (Kwadijk et al., 2010). Die Formulierung des ATP soll den Entscheidungsträger über den Wechsel zu einer neuen oder zusätzlichen Anpassungsmaßnahme informieren.

Dieser Ansatz ist für die Betriebsebene problematisch, da es aufgrund des komplexen Zusammenspiels verschiedener Faktoren schwierig ist, zuverlässige Schätzungen des ATP vorzunehmen. Der Einsatz von ATP wird zusätzlich dadurch erschwert, dass in der landwirtschaftlichen Produktion meist mehrere Maßnahmen gleichzeitig umgesetzt werden und bestehende Maßnahmen nicht ersetzt, sondern durch neue und zusätzliche Maßnahmen ergänzt werden. Beispielsweise werden dürrerolerante Sorten durch die Einführung einer reduzierten Bodenbearbeitung nicht ersetzt, sondern ergänzt.



Da dies nicht nur auf Betriebsebene ein Problem darstellt, wurden ATPs durch OTPs ergänzt (Opportunity Tipping Point; Haasnoot et al., 2018). Im Gegensatz zur ATP signalisiert OTP, wann die Einführung einer neuen oder ergänzenden Maßnahme sinnvoll ist. Dieser Ansatz ist in den meisten Fällen bei der landwirtschaftlichen Anpassungsplanung hilfreicher.

Das Tipping-Point-Konzept trägt dazu bei, unabhängiger von der Auswahl des (Klima-)Szenarios und dessen Genauigkeit zu werden. Im Vordergrund stehen die Bedingungen, unter denen eine bestimmte Anpassungsmaßnahme scheitert (ATP) oder umgesetzt werden sollte (OTP), nicht das gewählte Szenario.



Beispiel ATP: Betrachtet wird die Anpassungsmaßnahme „Aussaat von tiefwurzelnden Leguminosen und dürreresistenten Grassorten in Grünlandbeständen“. Diese Maßnahme könnte dürrerebedingte Schäden bis zu einem gewissen Grad abmildern, müsste jedoch bei zunehmender Dürreintensität durch andere Maßnahmen (z. B. Agroforstwirtschaft zur Beschattung und Ergänzung des Futterangebots) ergänzt werden.



Beispiel OTP: Betrachtet wird die Anpassungsmaßnahme „Agroforstwirtschaft“. Die Einführung einer staatlichen Förderung der Agroforstwirtschaft wäre ein OTP, das die Umsetzung der Agroforstmaßnahme initiiert.

## ZUSAMMENFASSUNG – Theoretischer Hintergrund: Methoden und Grundlagen

**Strategisches Farmmanagement**(Barnard und Nix, 1979; Kay et al., 2016) ist ein zyklischer Prozess und besteht aus den Phasen:

- Analyse (Problemdefinition)
- Zielformulierung
- Planung
- Umsetzung
- Überwachung, Steuerung und Neuplanung (Soll-Ist-Vergleich)
- Grundsätzlich kann dieser Prozess mit Ansätzen zur Anpassungsplanung (z. B. Adaptation Action Cycles; Park et al., (2012)) verglichen werden, da wesentliche Elemente ähnlich sind.
  - Es handelt sich um einen fortlaufenden Prozess der Analyse, Umsetzung, Überwachung und Neubewertung. Der Fokus liegt auf Lernen, Anpassungsfähigkeit und Flexibilität.
- Strategisches Farmmanagement muss durch DMDU-Ansätze (Decision-making Under Deep Uncertainty) ergänzt werden, um das Problem der



zunehmenden Unsicherheit zu bewältigen.

#### Entscheidungsfindung unter großer Unsicherheit:

- Definition aus dem U.S. Climate Resilience Toolkit (2023):  
*„Große Unsicherheit entsteht, wenn Entscheidungsträger und Stakeholder nicht wissen oder sich nicht darauf einigen können, wie wahrscheinlich unterschiedliche Zukunftsszenarien sind.“*
  - *Wenn keine Einigkeit, kein Wissen oder kein Vertrauen in diese Zukunftsszenarien besteht.*
  - *Wenn Entscheidungsträger oder Stakeholder nicht einer Meinung sind oder nicht wissen, welche Konsequenzen ihre Entscheidungen haben könnten.“ (Übersetzung: CI)*
- Es gibt verschiedene Ansätze und Methoden, die Entscheidungsträgern helfen, Entscheidungen in Situationen großer Unsicherheit zu treffen, zusammengefasst unter „Entscheidungsfindung unter tiefer Unsicherheit (DMDU)“ (Marchau et al., 2019).

Der **Dynamic Adaptive Pathways Approach (DAPP)** liefert die methodische Grundlage für den ClimateFarming-Zyklus.

- DAPP integriert Unsicherheit in den Planungsprozess dadurch, dass im Laufe der Zeit aufgrund der Verfügbarkeit neuer Erkenntnisse oder veränderter Bedingungen geändert werden (Marchau et al., 2019).

**Es gibt zusätzliche Methoden**, die in den ClimateFarming-Zyklus integriert werden können, um seine Ergebnisse zu verbessern

- Zusätzliche Methoden 1: TOWS-Analyse (Schritt 2)
- Zusätzliche Methoden 2: SWOT-Analyse und Notfallmaßnahmen (Schritt 4)
- Zusätzliche Methoden 3: Anpassungs-Tipping-Points und Opportunity-Tipping-Points (ATP und OTP)

## Referenzen

Abbasi, H., Delavar, M., Nalbandan, R. B., and Shahdany, M. H. (2020). Robust strategies for climate change adaptation in the agricultural sector under deep climate uncertainty. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pages 1–20.

Barnard, C. S., Barnard, C. S., and Nix, J. (1979). *Farm planning and control*. Cambridge University Press.

Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., and ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2):485–498

Haasnoot, M., van't Klooster, S., and Van Alphen, J. (2018). Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change. *Global environmental change*, 52:273–285.

Haasnoot, M., Warren, A., and Kwakkel, J. H. (2019). Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP). In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 71–92. Springer Nature.

Kay, R., Edwards, W., and Duffy, P. (2016). *Farm management*. eighth edition. international.

Kwadijk, J. C., Haasnoot, M., Mulder, J. P., Hoogvliet, M. M., Jeuken, A. B., van der Krogt, R. A., van Oostrom, N. G., Schelfhout, H. A., van Velzen, E. H., van Waveren, H., et al. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the netherlands. *Wiley interdisciplinary reviews: climate change*, 1(5):729–740.

Marchau, V. A., Walker, W. E., Bloemen, P. J., and Popper, S. W. (2019). Introduction. In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 1–20. Springer Nature.

Park, S. E., Marshall, N. A., Jakku, E., Dowd, A. M., Howden, S. M., Mendham, E., and Fleming, A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22(1):115–126.

U.S. Climate Resilience Toolkit. (2023). *Decision Making Under Deep Uncertainty*. <https://toolkit.climate.gov/content/decision-making-under-deep-uncertainty>. Last access: 24.10.2023

Walker, W. E., Marchau, V. A. W. J., and Kwakkel, J. H. (2019). Dynamic Adaptive Planning (DAP). In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 53–69. Springer Nature.



Kofinanziert von der  
Europäischen Union



Wehrich, H. (1982). The tows matrix—a tool for situational analysis. Long range planning, 15(2):54–66.