

Das Ganze sehen

Alle zusammen stehen wir angesichts einer rasch voranschreitenden Klimakrise und zahlreicher, sich zunehmend verschärfenden Umweltproblemen vor der größten Herausforderung der Menschheitsgeschichte: den Umbau unserer globalen Gesellschafts- und Wirtschaftssysteme weg von fossilen Energieträgern und auf Ausbeutung basierenden Strukturen hin zu nachhaltigen, regenerativen und partizipativen Systemen. Für landwirtschaftliche Betriebe, die unmittelbar mit und auf der Biosphäre arbeiten, bedeutet dies insbesondere die Wiederentdeckung des Agrarökosystems, welches nicht nur aus Zielpflanze und Nutztier besteht, sondern auch die Naturgüter Boden, Wasser, Biodiversität und Landschaft miteinbezieht. Die zunehmende Spezialisierung in Praxis wie Wissenschaft hat, obwohl extrem erfolgreich in Bezug auf Ertragssteigerungen, den Blick auf eine ganzheitliche Herangehensweise erschwert, wenn nicht sogar verloren. Diese ist jedoch Voraussetzung, wenn wir die Herausforderungen Klimakrise und Artensterben lösen wollen.

Das folgende Kapitel bietet eine Einführung in den ganzheitlichen Kontext regenerativer Ansätze und beleuchtet grundlegende Aspekte.

Inhalte

Was bedeutet "regenerativ"?	01
Artenschutz in der Klimakrise	02
Die Kuh in der Klimakrise	03
Der gestörte Wasserkreislauf	04
Belebter Boden	05
Die Bedeutung von Grünland	06

Das Ganze sehen

2.1 Was bedeutet „regenerativ“?

von Christine Bajohr

Seit mindestens drei oder vier Jahren ist der Begriff "regenerative Landwirtschaft" auch in Deutschland in aller Munde. Es gibt jedoch bisher keine einheitliche, anerkannte Definition der regenerativen Landwirtschaft [1]. Unter diesem Begriff befindet sich ein Sammelsurium unterschiedlicher Ansätze und Praktiken aus den Bereichen der ökologischen Landwirtschaft, der Permakultur, der Agrarökologie, der Agroforstwirtschaft und aus der Renaturierungsökologie [2]. Interessanterweise haben auch große Konzerne die regenerative Landwirtschaft für sich entdeckt und versuchen nun, diese regenerative Bewegung mitzugehen, indem sie für Landwirte "innovativ-traditionelle" Rundumpakte entwickeln, mit denen die ausgelaugten Böden und zerstörten Ökosysteme wieder regeneriert werden können. Ein sehr begrüßenswertes Vorhaben, wäre da nicht parallel die Vermarktung von Produkten (zum Beispiel Pestizide), die dem Anliegen entgegenwirken.

Der Kontext

Regenerative Landbewirtschaftungsmethoden wurden zunächst hauptsächlich in den Ländern entwickelt, in denen eine Landdegradierung, verursacht durch falsche Nutzung und forciert durch den Einfluss der Klimawandelfolgen, eine Bewirtschaftung mit den üblichen Praktiken unmöglich gemacht hatten. Insofern gibt es schon sehr viele Beispiele rund um den Globus, die ganz eindrucksvoll aufzeigen, wie in verhältnismäßig kurzer Zeit Landstriche regeneriert werden und somit dem Klimawandel entgegengewirkt werden kann. Im Umkehrschluss machen diese Beispiele deutlich, wo das eigentliche Problem liegt: In der falschen Landnutzung! Aufgrund unseres derzeit vergleichsweise immer noch sehr gemäßigten Klimas, fällt es erst seit ein paar Jahren auf, dass wir uns vor allem seit den letzten 60 bis 70 Jahren ebenfalls in einer Abwärtsspirale befinden. Man spricht zwar von „Land-Degradation“, wenn durch Missmanagement wichtige Funktionen gestört und Ökosystemleistungen nicht mehr erbracht werden können. Der in der Medizin gebräuchliche Begriff „Degeneration“ [3] (= „Entartung“; Funktionseinschränkung oder -verlust; Rückentwicklung von Strukturen durch Nutzungseinschränkungen) benennt das Problem vielleicht präziser, vor allem wenn man berücksichtigt, dass es sich bei einem Ökosystem um ein lebendes System handelt. Genau dies erkennt ein regenerativ arbeitender Praktiker an. Er hat verstanden, dass er es mit einem komplexen, sehr lebendigen Organismus zu tun hat.

„Die Regeneration stellt das Leben in den Mittelpunkt jeder Handlung und Entscheidung. Sie gilt für alles Leben... und am spektakulärsten für das Klima.“ [4] Besser lässt sich der Kern des regenerativen Gedankens wahrscheinlich nicht auf den Punkt bringen. Es geht um die Wiederherstellung wichtiger Kreisläufe und Prozesse, die im Verlauf der Evolution durch ein wachsendes Netzwerk vielfältiger Organismen gebildet und unterhalten wurden und bis „vor kurzem“ für ein stabiles Klima gesorgt haben. Das System "Erde" basiert auf dem Konzept "Biologie" und nicht auf "Technologie". Selbst wenn es uns in kurzer Zeit gelänge, durch verbesserte Technologien unsere Emissionen gegen Null herunterzufahren, wird uns das nichts nutzen, wenn wir nicht gleichzeitig alles unternehmen, für mehr biologische Vielfalt zu sorgen – zu Wasser, zu Land und in der Luft. Es gilt also, unsere bisherige Landnutzung genauestens zu hinterfragen und zu überlegen, wie wir eine einigermaßen geschmeidige 180°-Wende hinkriegen können.



Der Unterschied

Und ja, es gibt viele ökologische und auch konventionelle Betriebe (diejenigen, die zum Beispiel auf eine Zertifizierung keine Lust haben), die so wirtschaften, dass sie ihren Betrieb stets auf allen Ebenen (sozial, ökologisch, ökonomisch) gleichermaßen weiterentwickeln und die das regenerative Denken schon lange verinnerlicht haben – lange bevor der Begriff in die Welt gesetzt wurde. Wenn man sich mit diesen Praktikern unterhält erfährt man, dass in der Regel sehr langfristige Ziele gesetzt und deswegen auch Maßnahmen ergriffen werden, die insgesamt zu mehr Resilienz führen. Mit der Natur als Vorbild, verfolgen sie kontext- und standortbezogene Strategien, die sehr individuell und so umweltfreundlich wie möglich ausgestaltet werden. Man findet daher auf diesen Betrieben ein hohes Maß an Kreativität vor, eine hohe Bereitschaft, über den Tellerrand hinauszusehen, dazuzulernen und andere Sichtweisen zuzulassen oder einzunehmen.

Ein anderes Mindset

Das ist die Grundvoraussetzung, überhaupt etwas zu ändern und sich auf regenerative Landnutzung einzulassen. Ohne einen „Mindset-Wandel“, egal ob bei einer Person oder in der Gesellschaft, lässt sich nichts ändern in puncto Klimawandel, denn letzten Endes hängen sowohl Ziel als auch Ergebnis mit der Person oder der Instanz zusammen, die die Entscheidungen trifft. Diese sollte deshalb eine klare Vorstellung davon haben, was die Zukunft bringen soll.

*Alles, was wir im Schöpferischen unternehmen, ist nicht das Resultat, sondern das Ergebnis einer Vorwegnahme.
(Mihai Nadin, Philosoph)*

Praktiker, die ihre Sichtweisen und Herangehensweisen entsprechend verändert haben und versuchen, mehr mit der Natur zusammenzuarbeiten eint übrigens, dass sie im Vergleich zu vorher viel zufriedener mit ihrer betrieblichen Gesamtsituation sind sowie eine höhere Lebensqualität und mehr Zuversicht empfinden.

Das Ziel

Es lohnt sich also nicht nur monetär, das Netzwerk (Ökoystem) vor Ort zu stärken, denn wenn die ganze Gemeinschaft profitiert, profitiert auch das

Individuum beziehungsweise der Landwirt. Wirtschaftlichkeit wird immer angestrebt, aber nicht dadurch, dass man zum Beispiel versucht, mit einem noch höheren (Energie-)Aufwand sowie durch umfassende Standardisierungsprozesse und kostenintensive Technisierung die Effizienz zu verbessern. Das reduziert die Resilienz gegenüber äußeren Einflüssen und erhöht in diversen Bereichen die Abhängigkeit, was eine zukunfts-fähige Betriebsentwicklung gerade im Hinblick zukünftiger Krisenentwicklungen limitieren kann oder schlichtweg existenzgefährdend ist.

Regenerative Konzepte, die gerne kombiniert werden, zum Beispiel:

- Holistic Management (Framework)
Beweidungsformen, Holistic Planned Grazing, Mobgrazing, Permakultur
- Market Gardening-Konzepte, Agroforstsysteme, Syntropische Landwirtschaft
- Keyline-Design
- Humusaufbauende Ackerbaupraktiken mit minimaler Bodenbearbeitung und Direktsaat
- Rewilding
- Praktiken aus der ökologischen Landwirtschaft: Kompostierung, Fermentierung, Komposttee, Biostimulanzien
Biodyamische Praktiken
- Naturnaher Waldumbau
-

Die Zukunft

Die Problematik „Naturschwund“ ist allgemein anerkannt und deshalb ist nun als Lösungsansatz angedacht, zukünftig 20–30 % der Fläche der Natur zu überlassen [5], damit die Restfläche weiterhin intensiv genutzt werden kann.

Es ist fraglich, ob die Natur mit diesem „Deal“ leben kann. Es ist auch fraglich, ob wir Landwirte damit leben können oder wollen, da uns abverlangt wird, zwei entgegengesetzte Welten zu „bedienen“. Da erscheint die Variante „regenerative Landwirtschaft“ der bessere Weg zu sein, zumal es hier schon viele gute Beispiele gibt, die deutlich aufzeigen, dass noch nichts verloren ist und wir eine 180°-Gradwende schaffen könnten, wenn wir nur wollten.

¹ SCHREEFEL et al. (2020) Regenerative Agriculture, The soil is the base

² https://de.wikipedia.org/wiki/Regenerative_Landwirtschaft

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Degeneration>

⁴ <https://regeneration.org/nexus/regenerative-agriculture>

⁵ https://environment.ec.europa.eu/publications/nature-restoration-law_en

Das Ganze sehen

2.2 Artenschutz in der Klimakrise

von Bettina Burkart-Aicher

Rund eine Million Arten sind vom Aussterben bedroht. Der menschengemachte Klimawandel gefährdet die natürliche Vielfalt von Pflanzen und Tieren, die Biodiversität der Erde. Dieser Zusammenhang ist mittlerweile deutlicher als je zuvor belegt. Die Klimakrise beeinträchtigt die Funktionsfähigkeit der Ökosysteme und beschleunigt das Verschwinden von Arten. Betrachtet man die Wechselwirkungen zwischen Erderwärmung, Biodiversität und Mensch, wird schnell klar: das Artensterben wird sich massiv auf unsere Lebensgrundlagen auswirken. Artensterben sollte also nicht nur Biologen und Naturliebhabern Sorge bereiten, sondern uns alle auf den Plan rufen. Alarmstufe rot!

Alltag im (Klima-)Wandel

Die rezente Änderung des Klimas beeinflusst Arten und Lebensgemeinschaften auf vielfältige Art und Weise. Einige Effekte begegnen uns schon seit geraumer Zeit im Alltag, ohne dass wir sie bewusst dem Thema Klimawandel und Artensterben zuordnen. So klagen beispielsweise Allergiker über intensivere und länger anhaltende Leidensphasen, da sich die Pollenflugsaison aufgrund milderer Temperaturen verschiebt und ausdehnt oder Pollen nicht einheimischer Arten hinzukommen (FREI 2017).

Die Erderwärmung bringt viele, lange eingespielte Abläufe durcheinander

Imker beobachten, dass Blühzeitpunkte und Flugaktivitäten der Bienen vielfach nicht mehr zusammenpassen. Zugleich ist der frühe Frühling aber keine Garantie für eine neue, stabile Jahreszeit. Kälteeinbrüche und Spätfröste gefährden nicht nur Kulturpflanzen, sie verhindern auch, dass bestäubende Insekten aktiv werden. Einzig die Hummeln fliegen bei tieferen Temperaturen. Sie können aber nicht allein die Bestäubungsleistung erbringen, die auf eine Vielzahl unterschiedlicher Insektenarten baut (PFIFFNER & MÜLLER 2016).

Zum Kuckuck

Auch der Kuckuck hat Probleme mit dem Timing. Während viele Vogelarten früher brüten, bleibt er nach wie vor pünktlich bis April im warmen Süden.

Kehrt er zurück, haben die anderen Vögel längst gebrütet – ohne das eingeschmuggelte Kuckucksei (LAUTERBACH 2008).

Räumliche und zeitliche Beziehungen im Naturhaushalt geraten immer stärker aus dem Gleichgewicht, wenn sie nicht mehr synchron verlaufen können (SCHWEIGER et al. 2008).

Wissenschaftler schätzen, dass wir in den nächsten Jahrzehnten in Deutschland bis zu 30 Prozent unserer einheimischen Arten verlieren, weil sie sich nicht an die veränderten Umweltbedingungen anpassen können. Besonders betroffen sind kaltwasserliebende Fisch- und Krebsarten, aber auch Arten, die feuchte Lebensräume brauchen, wie die Gelbbauchunke oder alpine Arten, die nicht ausweichen können (BFN 2015).

Das Tempo macht den Unterschied

Anpassungen von Tier- und Pflanzenarten an sich ändernde Umweltbedingungen sind im Laufe der Erdgeschichte und der Evolution nicht ungewöhnlich, sie haben sich vielfach vollzogen. Die rasende Geschwindigkeit des menschengemachten Klimawandels macht es vielen Arten nun jedoch unmöglich Schritt zu halten. Gleichzeitig wandern vermehrt neue Arten, die bislang nicht heimisch waren, in bestehende Artengemeinschaften ein, sogenannte Neobiota. Sie stehen in Konkurrenz zu den einheimischen Arten und bewirken, dass sich traditionelle Artengemeinschaften verändern (NEHRING 2016).

Arten müssen sich verändern oder sie verschwinden

Mobile Arten versuchen der Veränderung ihres Lebensraums auszuweichen. So ziehen beispielsweise einige Schmetterlinge und Wildbienen-Arten Süddeutschlands in den kühleren Norden, während Arten aus südlicheren Regionen hier heimisch werden. Diese Wanderbewegungen bringen neue Arten wie den Eichenprozessionsspinner, der ursprünglich aus der Mittelmeerregion stammt. Seine Raupen fressen nicht nur die Bäume kahl, ihre giftigen Härchen können schmerzende Hautausschläge und allergische Reaktionen auslösen. Selbst wenn es den Arten gelingt, klimatisch gesehen in andere für sie geeignete Regionen auszuweichen, ist längst nicht sichergestellt, dass diese Bewegung auch ihren Nahrungspflanzen oder Beutetieren gelingt. Ihre Interaktionspartner fehlen, Nahrungsketten funktionieren nicht mehr. Einige Arten sind so stark spezialisiert, dass ihre Anpassungs- oder Ausbreitungsmöglichkeiten sehr eingeschränkt sind. Die Wirkungszusammenhänge sind vielseitig und oft noch nicht einmal bekannt (ESSL & RABITSCH 2013).

Resilienz

Angewandt auf Ökosysteme bezeichnet Resilienz deren Fähigkeit, gefährliche Ereignisse, Trends oder Störungen zu bewältigen, indem sie so reagieren oder sich um-organisieren, dass

- ihre wesentlichen Funktionen,
- ihre Struktur sowie
- ihre biologische Vielfalt

erhalten bleiben, während sie gleichzeitig die Fähigkeit zur Regeneration, zur Anpassung und zur Transformation bewahren.

Biodiversität ist ein entscheidender Faktor dafür, wie gut Ökosysteme mit Störungen umgehen können.

Es sind immer Komplexe betroffen.

Spätestens an dieser Stelle wird klar: Es geht nicht nur um einzelne Arten, sondern um die Vielfalt des Lebens. Man spricht von Biodiversität und meint (1) genetische Vielfalt, (2) Vielfalt der Arten, (3) Vielfalt der Ökosysteme und (4) Vielfalt der Wechselwirkungen zwischen Arten und Ökosystemen. Die heutige Biodiversität ist das Ergebnis einer Entwicklung über Millionen von Jahren. Mit jeder verlorenen Art gehen auch artspezifische Merkmale und genetische Informationen verloren. Dabei ist zu bedenken: Selbst, wenn eine Art unter den aktuellen Umweltbedingungen keine funktionelle Rolle spielen sollte, kann sie doch Tragweite bekommen, wenn sich die Umweltbedingungen ändern (YACHI & LOREAU 1999).

Artenverlust bedeutet auch Verlust genetischer Vielfalt.

Vielfalt gibt es in der Natur nicht nur aufgrund verschiedener Arten und deren Lebensgemeinschaften, sondern auch innerhalb von Arten. Oft staunen wir über große Unterschiede beim Aussehen, hier spricht man von morphologischer Vielfalt. Die genetische Vielfalt, auch genetische Diversität genannt, steht für die Vielfalt in den Erbanlagen. Sie ist der Motor für Veränderungen innerhalb der Arten und Antrieb für die Entstehung neuer Arten. Genetische Vielfalt ist die Voraussetzung für die Anpassungsfähigkeit von Pflanzen und Tieren an veränderte Lebensbedingungen. Sie ist daher überlebenswichtig, nicht nur für Einzelne, sondern für ganze Populationen einer Art (MOSBRUGGER et al. 2014). Die Funktionsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit ganzer Ökosysteme hängen davon ab, ob Anpassung gelingt. Das gilt in besonderem Maße auch im Hinblick auf ihre Robustheit (Resilienz) gegenüber klimawandelbedingten Veränderungen.

Auswandern, um dem Klimawandel zu entkommen – doch wohin und wie?

Die Durchwanderbarkeit der Landschaft ist für sehr viele Arten mittlerweile zu einem Problem geworden. Geeignete Wanderkorridore fehlen, Biotope sind nicht mehr vernetzt, selbst Schutzgebiete liegen wie Inseln in einer zunehmend bebauten und

intensiv genutzten Landschaft. Arten und ihre Gemeinschaften haben vielfach gar keine Möglichkeit zur Flucht. Wenn Ökosysteme durch die Landnutzung auf inselartige Schutzgebiete zurückgedrängt werden, können sie sich bei raschem Klimawandel ebenfalls nicht mehr anpassen oder an anderer Stelle neu entstehen. Denkbar ist auch die Ablösung einer in Bedrängnis geratenen Art durch eine andere, die den nun fehlenden funktionellen Beitrag ersetzt. Dies ist aber nur möglich, wenn viele verschiedene Arten vorhanden sind. Je kleiner der Pool an verfügbaren Arten, desto unwahrscheinlicher sind funktionierende Ausgleichsprozesse. Da wir das komplexe Wirkungsgefüge von biologischen Interaktionen der Ökosysteme nicht vollständig durchschauen können, ist es sinnvoll eine möglichst große Vielfalt zu erhalten (SCHALLER et al. 2012).

aber auch Stoffeinträge und Giftstoffe (JACKSON 1998; REICHHOLF 2009; VON HAAREN 2010). Nicht klimatische, vom Menschen verursachte Faktoren verschärfen weltweit die derzeitige Verwundbarkeit von Ökosystemen gegenüber dem Klimawandel. Sogar innerhalb von Schutzgebieten schlagen vor allem die nicht nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen, die Fragmentierung von Lebensräumen und die Schädigung von Ökosystemen durch Schadstoffe zu Buche.



Grafik: © Dr. Bettina Burkart-Aicher

Biodiversität schützen hilft uns bei der Anpassung an den Klimawandel

Bei aller Diskussion um den Klimawandel dürfen wir nicht vergessen, dass der Artenschwund in unseren Landschaften sehr viele Ursachen hat. Besonders gravierende Folgen haben die Intensivierung der Landwirtschaft, Bebauung und Versiegelung,

Summations- und Kaskadeneffekt

Summationseffekt:

Die Summe aus mehreren möglichen Ursachen, die in einem Gebiet zum Rückgang der Artenvielfalt führt.

Kaskadeneffekt:

Mit steigender Anzahl der negativen Einflüsse nimmt das Ausmaß des Artenrückgangs zu.

Unsicherheitseffekt:

Auswirkungen einzelner (auch kleiner) Veränderungen können unbekannte Folgewirkungen nach sich ziehen.

Komplexe Wirkungsgefüge

Blicken wir beispielsweise auf Grünland, ist festzustellen, dass dort Artenvielfalt und funktionelle Unterschiedlichkeiten von Pflanzenarten eine Vielfalt weiterer Gruppen von Lebewesen bedingen (SCHERBER et al. 2012). Wie komplex die Zusammenhänge sind, zeigen Nachweise, dass die Biodiversität des Bodens (Bakterien, Pilze, Protisten und Wirbellose) signifikant und positiv mit mehreren Ökosystemfunktionen assoziiert ist (DELGADO-BAQUERIZO et al. 2020). Allgemein erhöht Biodiversität (nicht nur des Bodens) die Widerstandsfähigkeit der Ökosystemproduktivität gegenüber Klimaextremen (HONG et al. 2021) sowie die Biomasseproduktion insgesamt (TILMAN et al. 2006).

Die Verwundbarkeit von Menschen und Ökosystemen ist voneinander abhängig

Artenverlust geht häufig mit reduzierten Ökosystemleistungen einher, auch im Grünland (HECTOR et al. 1999). Mit dem Rückgang der Biodiversität verschlechtern sich fast immer Funktionen der Ökosysteme, die für das Leben der Menschen von existenzieller Bedeutung sind (Wasser- und Klimaregulierung, Luftreinhaltung, Produktion von Nahrungsmitteln, Bereitstellung von Erholungsräumen und so weiter). Dieser Verlust von Ökosystemen und ihren Leistungen hat kaskadenartige und langfristige Folgen für Menschen weltweit (IPPC 2022).

Was tun?

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt deutlich zu reduzieren, müssen die typischen Lebensräume der Arten, beispielsweise Feuchthabitate, Laubwälder, extensives Grünland optimiert werden. Dabei sind Maßnahmen besonders wichtig, die den Wasserhaushalt verbessern und den Struktureichtum fördern. Die Resilienz von Arten, biologischen Gemeinschaften und Ökosystemprozessen steigt mit der Größe der naturbelassenen Gebiete, durch die Wiederherstellung geschädigter Gebiete und durch die Verringerung nichtklimatischer Stressfaktoren. Wesentlich ist auch der Aufbau eines funktionierenden Biotopverbunds, der sowohl groß- als auch kleinräumig wirksam ist. Er erleichtert die Wanderung von Arten an neue, ökologisch geeignete Standorte, insbesondere auch durch eine stärkere Vernetzung zwischen Schutzgebieten. Ebenso dringend ist ein gezieltes intensives Management für gefährdete Arten sowie der Schutz von Rückzugsgebieten, in denen Arten lokal überleben können.

Wer kann auf die Veränderungen der Biodiversität durch den Klimawandel reagieren?

Durch den Klimawandel verändern sich Umweltbedingungen teilweise rasend schnell. Es müssen verstärkt Maßnahmen ergriffen werden, die der Natur ermöglichen auf die Veränderungen zu reagieren, ohne dass die Vielfalt dabei verloren geht (STREITBERGER et al. 2016). Einflussmöglichkeiten haben hier die hauptsächlichen Landnutzer, insbesondere die Land- und Forstwirtschaft gemeinsam mit dem

Naturschutz. Die vermehrte Anwendung regenerativer Landbewirtschaftungsstrategien kann dazu beitragen, diese notwendige Transformation in Land- und Forstwirtschaft einzuleiten und somit zur Sicherung und Stabilisierung von Ökosystemen beitragen.

„Nutzungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen müssen stärker auf die Sicherung der Stabilität beziehungsweise Resilienz der Systeme gegenüber klimatischen Extremen ausgerichtet werden. Das kann durch neue Bewirtschaftungsverfahren und durch die Nutzung besser angepasster Tier- und Pflanzenarten erfolgen. Der Naturschutz muss stärker die Dynamik der Systeme bei der Definition seiner Ziele berücksichtigen. Insbesondere ist es wichtig, durch eine effektive grüne Infrastruktur Artenvielfalt nicht nur in isolierten Schutzgebieten, sondern generell in den Kulturlandschaften zu sichern.“ (KLOTZ & SETTELE 2017).



Weide-Kulturlandschaft im Allgäu mit angepassten Zweinutzungsrasen und ganzheitlich orientiertem Weidemanagement (*Holistic Planned Grazing*), © Foto: Christine Bajohr

Fazit

Ökosysteme spielen eine besondere Rolle im Klimawandel. Sie sind die Grundlage unseres Lebens und Wirtschaftens. Ihre vielfältigen Funktionen können sie jedoch nur erfüllen, wenn sie sich langfristig an veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse anpassen. Diese Anpassung ist wiederum nur möglich, wenn die Ökosysteme intakt und stabil sind.

Das kann nur gelingen, wenn ökologische, soziale, ökonomische und lokal politische Ziele ressortübergreifend abgestimmt und gemeinsam verfolgt werden.

Literatur

BFN (= BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, Hrsg., 2015): Artenschutz-Report – Tiere und Pflanzen in Deutschland. – Bonn: 64 S.

DELGADO-BAQUERIZO, M., REICH, P. B., BARDGETT, R. D., ELDRIGE, D. J., LAMBERS, H., WARDLE, D. A., REED, S. C., PLAZA, C., PNG, G. K., NEUHAUSER, S., BERHE, A. A., HART, S., HU, H.-W., HE, J.-Z., BASTIDA, F., ABADES, S., ALFARO, F. D., CUTLER, N. A., GALLARDO, A., GARCÍA-VELÁQUEZ, L., HAYES, P. E., HSEU, Z.-Y., PÉREZ, C. A., SANTOS, F., SIEBE, C., TRIVEDI, P., SULLIVAN, B. W., WEBER-GRULLON, L., WILLIAMS, M. A. & FIERER, N. (2020): The influence of soil age on ecosystem structure and function across biomes. – *Nature Communications*: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18451-3>.

ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg., 2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – Springer, Berlin, Heidelberg: 458 S. FREI, T. (2017): Globale Klimaerwärmung und deren Auswirkungen auf die Gesundheit. – In: *Allergologie* 8/2017: 320–326.

HECTOR, A., SCHMID, B., BEIERKUHNEIN, C., CALDEIRA, M. C., DIEMER, M., DIMITRAKOPOULOS, P. G., FINN, J. A., FREITAS, H., GILLER, P. S., GOOD, J., HARRIS, R., HÖGGER, P., HUSS-DANELL, K., JOSHI, J., JUMPPONEN, A., KÖRNER, C., LEADLEY, P. W., LOREAU, M., MINNS, A., MULDER, C. P., O'DONOVAN, G., OTWAY, S. J., PEREIRA, J. S., PRINZ, A., READ, D. J., SCHERER-LORENZEN, M., SCHULZE, E.-D., SIAMANTZIOURAS, A. S. D., SPEHN, E. M., TERRY, A. C., TROUMBIS, A. Y., WOODWARD, F. I., YACHI, S. & LAWTON, J. H. (1999): Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands. – *Science*, Vol. 286, Issue 5442: 1123–1127; DOI: 10.1126/science.286.5442.1123.

HONG, P., SCHMID, B., DE LAENDER, F., EISENHAEUER, N., ZHANG, X., CHEN, H., CRAVEN, D., DE BOECK, H. J., HAUTIER, Y., PETCHEY, O. L., REICH, P. B., STEUDE, B., STRIEBEL, M., THAKUR, M. P. & WANG, S. (2022): Biodiversity promotes ecosystem functioning despite environmental change. – *Ecology Letters* 25: 555–569.

IPCC (= INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D. C., POLOCZANSKA, E. S., MINTENBECK, K., TIGNOR, M., ALEGRÍA, A., CRAIG, M., LANGSDORF, S., LÖSCHKE, S., MÖLLER, V. & OKEM, A.], Hrsg., 2022): Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung – In: *Klimawandel 2022: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. – Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D. C., TIGNOR, M., POLOCZANSKA, E. S., MINTENBECK, K., ALEGRÍA, A., CRAIG, M., LANGSDORF, S., LÖSCHKE, S., MÖLLER, V., OKEM, A. & RAMA, B. [Hrsg.]), Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom Juli 2022, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn; Die Luxemburger Regierung, Luxemburg; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim, Bern, Oktober 2022; DOI 10.48585/nx04-e135*.

JACKSON, L. L. (1998): Agricultural Industrialization and the Loss of Biodiversity. – In: GURUSWAMY, L. D. & McNEELY, J. (eds.) *Protection of Global Biodiversity. – Converging Strategies*, Durham, London: 66–86.

KLOTZ, S. & SETTELE, J. (2017): Biodiversität – In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. [Hrsg.]: *Klimawandel in Deutschland*: 152–160; DOI 10.1007/978-3-662-50397-3_15.

LAUTERBACH, M. (2008): Der Kuckuck – ein bedrohter Parasit. – *LWF aktuell* 63: 58–59.

MOSBRUGGER, V., BRASSEUR, G. P., SCHALLER, M. & STRIBRNY, B. (Hrsg., 2014): *Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. – 2. Aufl. Wiss. Buchgesell., Darmstadt*: 432 S.

NEHRING, S. (2016): Invasive Arten profitieren vom Klimawandel. – In: LOZÁN, J. L., BRECKLE, S.-W., MÜLLER, R. & RACHOR, E. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Die Biodiversität. – Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg*: 164–169.

PIFFNER, L. & MÜLLER, A. (2016): *Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL: Faktenblatt Wildbienen und Bestäubung. – www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1633-wildbienen.pdf*.

REICHHOLF, J. H. (2008): *Ende der Artenvielfalt? Gefährdung und Vernichtung von Biodiversität. – Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt*: 224 S.

SCHALLER, M., BEIERKUHNEIN, C., RAJMS, S., SCHMIDT, T., NITSCH, H., LIESS, M., KATTWINKEL, M. & SETTELE, J. (2013): *Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen auf landwirtschaftlich genutzte Lebensräume. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – Springer, Berlin, Heidelberg*: 222–259.

SCHERBER, C., EISENHAEUER, N., WEISSER, W., SCHMID, B., VOIGT, W., FISCHER, M., SCHULZE, E.-D., ROSCHER, C., WEIGELT, A., ALLAN, E., BEßLER, H., BONOWSKI, M., BUCHMANN, N., BUSCOT, F., CLEMENT, L. W., EBELING, A., ENGELS, C., HALLE, S., KERTSCHER, I., KLEIN, A.-M., KOLLER, R., KÖNIG, S., KOWALSKI, E., KUMMER, V., KUU, A., LANGE, M., LAUTERBACH, D., MIDDELHOFF, C., MIGUNOVA, V. D., MILCU, A., MÜLLER, R., PARTSCH, S., PETERMANN, J. S., RENKER, C., ROTTSTOCK, T., SABAI, A., SCHEU, S., SCHUMACHER, J., TEMPERTON, V. M. & TSCHARNTKE, T. (2010): Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. – *Nature* 468: 553–556; <https://doi.org/10.1038/nature09492>.

SCHWEIGER, O., SETTELE, J., KUDRNA, O., KLOTZ, S. & KÜHN, I. (2008): Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. – *Ecology* 89(12): 3472–3479.

STREITBERGER, M., ACKERMANN, W., FARTMANN, T., KRIEGLER, G., RUFF, A., BALZER, S. & NEHRING, S. (2016): *Artenschutz unter Klimawandel: Perspektiven für ein zukunftsfähiges Handlungskonzept. – Naturschutz und Biologische Vielfalt* 147: 367 S.

TILMAN, D., REICH, P. B. & KNOPS, J. (2006): Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. – *Nature* 441: 629–632.

VON HAAREN, C., SAATHOFF, W., BODENSCHATZ, T. & LANGE, M. (2010): *Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität. – Naturschutz und Biologische Vielfalt* 94: 1–181.

YACHI, S. & LOREAU, M. (1999): Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. – *PNAS* 96: 1463–1468.

EXKURS

Naturbasierter/Ökosystembasierter Klimaschutz

Naturbasierte Lösungsansätze versuchen über lokal angemessene, anpassungsfähige Maßnahmen Ökosysteme zu schützen, nachhaltig zu bewirtschaften oder wiederherzustellen. Es geht darum, die funktionalen Beziehungen innerhalb eines Ökosystems und zwischen den Arten zu stärken und zu stabilisieren, um so deren Widerstandsfähigkeit zu erhöhen.

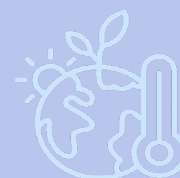
Beim **naturbasierten Klimaschutz** werden die Leistungen der Ökosysteme genutzt, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren, Kohlenstoffspeicher zu bewahren und diese zu erweitern. Von besonderem Interesse ist dabei der gebundene Kohlenstoff, der in der Vegetation und im Boden gespeichert ist. Seine Freisetzung soll langfristig verhindert werden, beispielsweise durch Erhalt von intakten Moorböden, Dauergrünland oder Wäldern. Außerdem will man atmosphärischen Kohlenstoff durch Aufforstung oder das Anlegen von städtischen Grünflächen festlegen. Treibhausgas-Emissionen, die durch Landnutzung beziehungsweise Landnutzungsänderungen entstehen, sollen ebenfalls verhindert werden. Hier sind Maßnahmen wie die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorböden, eine schonende, klimafreundliche Bodenbearbeitung oder der Einsatz von Gründünger in der Landwirtschaft zu nennen. Selbstverständlich zählen hier auch indirekte Maßnahmen, wie zum Beispiel der Ausbau von Fahrradrouen oder Initiativen zu Ökotourismus. Alles beispielhaft.

Bei der **naturbasierten Klimaanpassung** ist das Ziel, Ökosysteme fit für den Klimawandel machen, damit sie negative Auswirkungen (zum Beispiel heftigere Regenfälle, häufigere Überflutungen, Hitzewellen, Dürreperioden) abpuffern können und weiterhin leistungsfähig bleiben. Typische Maßnahmen sind hier beispielsweise die Renaturierung von Fließgewässern, die Schaffung von natürlichen Überflutungsräumen, der Waldumbau von Monokulturen hin zu Mischwäldern, Agroforstwirtschaft, das Auswählen von trockenheitsresistenten Kulturen in der Landwirtschaft oder die Anlage von kommunalen Grünflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünungen. Beide Ansätze ergänzen sich oftmals gut. Wiedervernässte Moorböden

bieten beispielsweise nicht nur Lebensraum für gefährdete Arten und wirken sich positiv auf die Regulierung des Landschaftswasserhaushaltes aus, sondern sie leisten auch einen enormen Beitrag zur Verminderung des Ausstoßes klimaschädlicher Gase und somit zur Erreichung nationaler und europäischer Klimaziele.

Für den Erfolg der Maßnahmen **immer ganz entscheidend** ist, dass sie im ökologischen, sozialen und lokalen politischen Kontext angemessen sind. Es dürfen keine anderen (zum Beispiel ökologische) Schäden entstehen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler warnen davor, das globale Minderungspotenzial von naturbasierten Lösungen zu überschätzen. Die sehr unterschiedlichen Minderungspotenziale der verschiedenen Systeme und Qualität vorhandener Daten sowie Quantifizierungsmethoden mit erheblichen Unsicherheiten lassen pauschale Aussagen nicht zu. Es fehlen integrierte Studien, es besteht weiterer Forschungsbedarf.

Gleichwohl haben naturbasierte Ansätze **vielseitige und sektorübergreifende Effekte**. Sie schaffen Synergien zwischen dem Schutz der Biodiversität und gesellschaftlichen Herausforderungen wie dem Klimawandel. Sie verbinden Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel, Katastrophenvorsorge, Erhaltung der biologischen Vielfalt und nachhaltiges Ressourcenmanagement. Deshalb werden sie oft als „**Maßnahmen ohne Reue**“ (*no-regret options*) bezeichnet. Für ein intelligenteres, grüneres, CO₂-neutrales Europa sind sie zweifelsohne von großer Bedeutung und sollten verstärkt Aufmerksamkeit und Unterstützung erfahren.



Literatur und weiterführende Adressen siehe Glossar.

2.3 Die Kuh in der Klimakrise

von Annika Held

Die Haltung von Rindern ist untrennbar mit der Diskussion um ihre Treibhausgasbilanz verknüpft. Nahezu jedem dürften schon einmal Angaben zum CO₂-Fußabdruck von Milch oder Rindfleisch untergekommen sein, die den massiven negativen Einfluss der Tiere auf das Klima verdeutlichen sollen. Dabei wird jedoch selten erklärt, was sich genau hinter diesen Zahlen verbirgt, wie sie zustandekommen und wie sie eigentlich interpretiert werden. Dabei zeigt sich, die Sache ist nicht so einfach, wie sie scheint.

Methan und der Kohlenstoffkreislauf

Zu Beginn müssen wir auf ein Treibhausgas eingehen, das wie kein anderes mit Rindern in Verbindung gebracht wird: Methan. Methan ist ein farb- und geruchloses Gas, das aufgrund seiner Struktur sehr energiereich ist und daher als Kraft- und Brennstoff für eine Vielzahl von Anwendungen taugt, wäre da nicht seine wenig reizvolle Eigenschaft, sich stark auf den Strahlungsantrieb und damit das Klima auszuwirken. Wird es verbrannt, etwa bei der Nutzung von Erdgas, entsteht wie bei jeder Verbrennungsaktion Kohlenstoffdioxid (CO₂), wobei dessen Klimaeffekt davon abhängt, ob es biogenen oder fossilen Ursprungs ist. Doch warum diese Unterscheidung? Und was hat das Ganze mit der Kuh und ihrem Methan zu tun? Eine ganze Menge, wie im Folgenden erläutert wird.

Stellen Sie sich eine Kuh vor, wie sie leibt und lebt, ob im Stall oder auf der Weide. Diese Kuh muss, wie alle anderen Tiere, Nahrung zu sich nehmen, damit sie nicht verhungert. Neben Makro- und Mikro-nährstoffen ist dabei der Kohlenstoff, der in Form von Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten in der Nahrung vorliegt, besonders wichtig, um den Energiestoffwechsel am Laufen und damit den Organismus am Leben zu halten. Auch Wachstums- und Reproduktionsprozesse erfordern viel Energie, was jedes Kalb und jede volllaktierende Kuh tagtäglich unter Beweis stellen. Doch woher kommt diese Energie, die in Form von Kohlenstoffverbindungen in der Nahrung steckt? Wie waren die Futterpflanzen in der Lage, diese Energie zu erlangen? Die Antwort liegt in der einzigartigen Fähigkeit, die grüne Pflanzen und Algen im Gegensatz zu allen anderen Organismen beherrschen und die sie im Ökosystem

zu den Primärproduzenten macht: Photosynthese. Diese Fähigkeit, Kohlenstoffdioxid, das äußerst energiearm (der Chemiker würde sagen, oxidiert) ist, unter Zuhilfenahme von Sonnenenergie in energiereiche Kohlenstoffverbindungen umzuwandeln, ist eine der faszinierendsten biologischen Vorgänge überhaupt und stellt die Umkehrung der Zellatmung da, die organische Verbindungen zur Energiegewinnung verstoffwechselt und dadurch wieder CO₂ freisetzt.

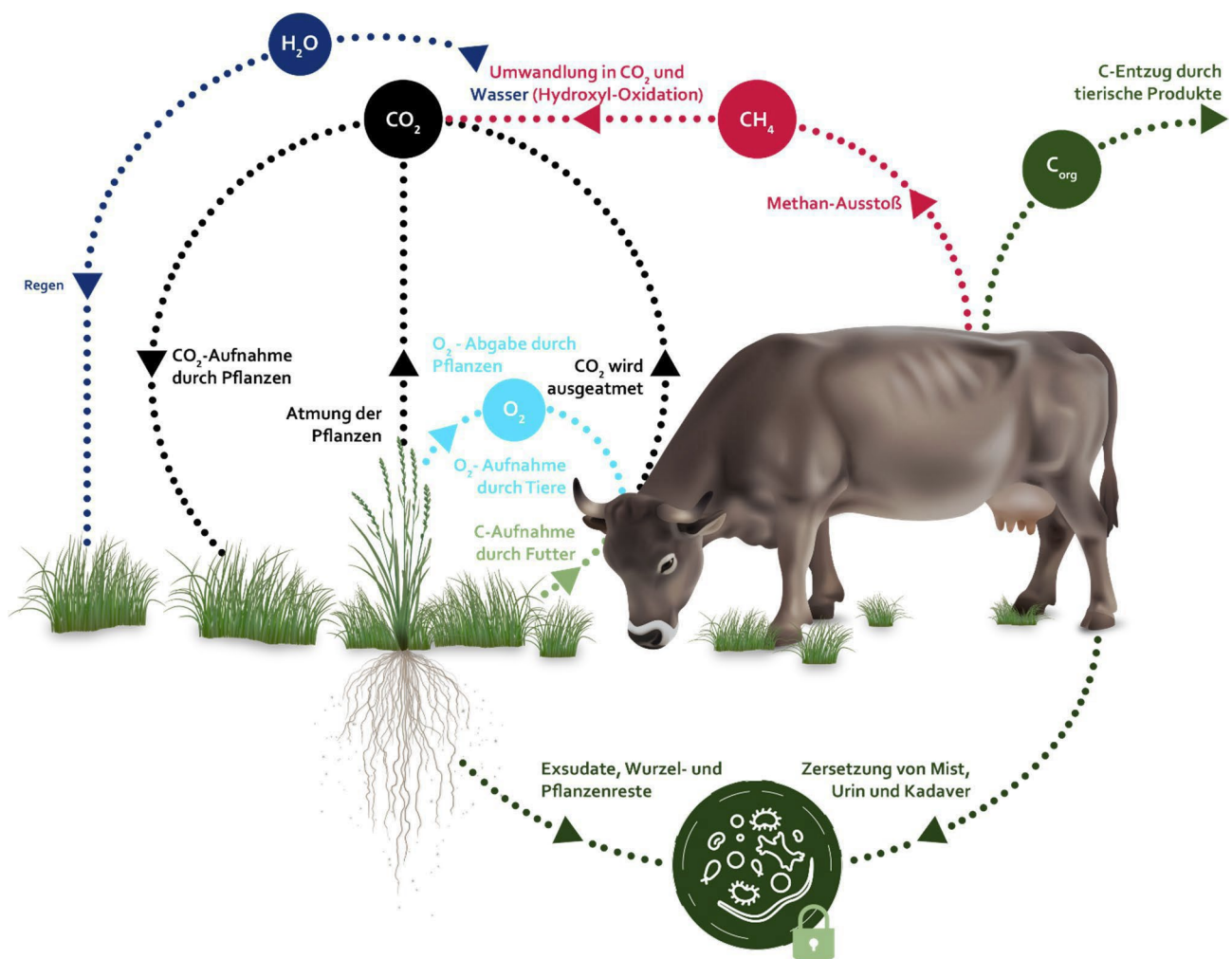
Strahlungsantrieb

Mit diesem Begriff beschreiben Physiker und Klimawissenschaftler Änderungen in der Energiebilanz der Erde, die wesentlich davon abhängt, wie viel von der Energie, die durch die kurzwellige Strahlung der Sonne bei uns ankommt, wieder als langwellige Wärmestrahlung ins All abgestrahlt wird. Treibhausgase in der Atmosphäre können über einen im Detail hoch komplexen quantenmechanischen Prozess in diese Bilanz eingreifen, indem sie Wärmestrahlung absorbieren und streuen, wodurch ein Teil der Energie als Gegenstrahlung wieder auf die Oberfläche zurückfällt. Dieser Vorgang ist natürlich und hat Leben auf dem Planeten erst ermöglicht, da er die Durchschnittstemperatur des Planeten über den Gefrierpunkt anhebt. Der Mensch greift nun in diese Balance ein und setzt hohe Mengen an Treibhausgasen in einer Geschwindigkeit frei, wie es noch nie zuvor in der Erdgeschichte geschehen ist. Dies wird als anthropogener, also menschengemachter Treibhauseffekt bezeichnet.

Moment, Halt! Damit wir nicht durcheinanderkommen, ordnen wir das beschriebene der Reihe nach: Die Pflanze, unabhängig davon, ob es sich um Futtermais, Luzerne oder ein Weidelgras handelt, nutzt Sonnenenergie, um CO_2 zu binden und energiereiche Assimilate herzustellen. Einen Teil dieser Energie braucht sie allerdings selbst, schließlich muss sie ihre eigenen Stoffwechsel-, Wachstums-, und Reproduktionsprozesse am Laufen halten. Hierfür „verbrennt“ sie im Zuge der Zellatmung Kohlenstoffverbindungen wie Glucose zu CO_2 , wobei sie darüber hinaus Sauerstoff aus der Umgebungsluft benötigt, um den mehrstufigen Prozess zu vollziehen. Es handelt sich dementsprechend um eine aerobe Atmung, wie sie auf gleiche Weise beim Menschen, beim Rind und beim Wattwurm abläuft. Großartig, jetzt wissen Sie auch, warum Sie als Mensch, als Rind oder als Wattwurm ein Problem bekommen, wenn Ihre Sauerstoffzufuhr unterbrochen wird. Ihre Zellen können keine Atmung mehr vollziehen, der Energienachschub bleibt aus,

kritische Bereiche wie Herz, Gehirn und andere Organe fallen nach und nach aus und Sie sterben. So, nach diesem Crashkurs in Sachen Stoffwechsel zurück zu unserer Pflanze. Überschüssige Energie, die derzeit nicht benötigt wird, lagert die Pflanze für Notzeiten oder zur Ernährung von Nachkommen ein, wie es Ihr Organismus im Übrigen auch tut (Problemzonen sind evolutionär gesehen eigentlich ein Zeichen guter Vorsorge, solange man es nicht übertreibt und die Gesundheit darunter leidet). Pflanzen sind aufgrund ihrer Immobilität sehr kreativ, wenn es darum geht, widrigen Bedingungen und gefräßigen Vierbeinern zu trotzen, doch die Gegenseite bleibt nicht untätig und so landet der oberirdische Teil unsere Pflanze irgendwann im Maul einer glücklich vor sich hin kauenden Milchkuh.

Für diesen Pflanzenteil war es das gewesen, er wird systematisch durch den Wiederkäuer zerkleinert und verdaut.



Darstellung des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs zwischen Pflanzen, Wiederkäuern und Atmosphäre unter Berücksichtigung der Bodensenke, © Annika Held

Dummerweise liegen der Kohlenstoff und die ganzen Nährstoffe nur zu einem sehr kleinen Teil in handlichen, leicht transportier- und sofort nutzbaren Strukturen vor, sondern sind in verschiedenen komplexeren Verbindungen gebunden. Diese müssen erst einmal aufgebrochen und modifiziert werden, um sie später im eigenen Energiestoffwechsel nutzen zu können. Besonders renitent verhalten sich dabei Gerüstverbindungen wie Lignin, Cellulose und Hemicellulose (NDF), also kohlenstoffreiche Materialien der Zellwände, die das pflanzliche Gewebe stabilisieren und festigen. Viele Monogastrier, darunter auch der Mensch, können diese Verbindungen kaum oder gar nicht verwerten, weshalb sie den Verdauungsprozess als Ballaststoffe passieren und wieder ausgeschieden werden. Rinder haben als Wiederkäuer hierfür jedoch ein ganz besonderes Ass im Ärmel. Analog zum menschlichen Biom im Darm beherbergen sie eine Vielzahl verschiedener Mikroorganismen im Pansen, von denen einige in der Lage sind, auch äußerst widerspenstige Stoffe zu zerlegen und dem Wirtsorganismus zugänglich zu machen. Die Rede ist von bestimmten Archaeen, eine Organismendomäne, die man sich als Bakterien vorstellen kann, obwohl sie das streng genommen nicht sind. Diese kleinen Spezialisten leben endosymbiontisch im Hauptmagen und spalten selbst stabile Vielfachzucker wie Cellulose, einzig an Lignin scheitern sie. Bedenkt man den hohen Anteil an Zellwänden an üblichen Grundfutterarten und den damit verknüpften beachtlichen Energiegehalt, wird die Bedeutung dieser Fähigkeit für das Überleben und die Behauptung dieser Tiergruppe deutlich. Das Wiederkäuen ist eines der Erfolgsrezepte der Natur.

Symbiose

Hierunter bezeichnen Biologen ein Verhältnis zwischen zwei oder auch mehreren verschiedenen Arten, das allen beteiligten Parteien zum Vorteil gereicht. Leben die Partner außerhalb voneinander (wie Blütenpflanze und Bestäuber) spricht man von einer Ektosymbiose. Als endosymbiontisch wird eine Beziehung bezeichnet, in der eine Partei innerhalb der anderen Partei (Wirt) lebt (etwa menschliches Mikrobiom). Ist das Verhältnis ungleich und zum Schaden einer Partei handelt es sich um Parasitismus.

Alles gut und schön, aber wir sind immer noch nicht beim eigentlichen Thema angekommen. Was hat das alles mit dem Klima zu tun? Tja, die Archaeen setzen bei ihren Fress- und Stoffwechselaktivitäten Methan aus dem aufgenommenen Futter frei. Obwohl, wie bereits oben erläutert, Methan einen recht hohen Energiegehalt hat, kann die Kuh diese Verbindung nicht nutzen, da ihr hierfür die Enzyme fehlen. Also raus damit, genauso wie das unnütze CO₂ aus der Zellatmung. Das Methan entweicht also in die Atmosphäre, wo es erst einmal für eine gewisse Zeitspanne bleibt. Doch im Gegensatz zum Kohlenstoffdioxid, das bereits, wir erinnern uns, sehr energiearm ist und nicht weiter oxidiert werden kann, reagiert Methan in der Atmosphäre früher oder später mit einem sogenannten Hydroxylradikal zu CO₂ und Wasser.

Radikal

Ein Radikal bezeichnet in der Chemie, nein, kein extremistisches Teilchen mit Hang zur Selbstsprengung, sondern ein Atom oder eine Verbindung, die ein ungepaartes Elektron in der äußersten Schale aufweist. Solche Substanzen sind äußerst reaktionsfreudig und nicht sehr wählerisch in Bezug auf die Partnerwahl. Sprich, sie reagieren mit fast allem, was ihnen über den Weg läuft. Das ist prima für die Entfernung von schädlichen Verbindungen in der Atmosphäre, kann aber äußerst negative Konsequenzen für Zellgewebe und andere lebende Strukturen haben. Die mittlerweile auch Laien bekannten Antioxidantien schützen den Körper vor bestimmten sauerstoffhaltigen Radikalen.

Methan hat also nur eine begrenzte atmosphärische Verweildauer, während Kohlenstoffdioxid erst aktiv auf organischem (Photosynthese) oder anorganischem Wege (etwa mineralische Verwitterung) gebunden werden muss und potenziell eine unendliche Lebensdauer aufweist. Was den Kohlenstoffkreislauf angeht, tragen weder das von der Kuh ausgeatmete CO₂ noch das ausgestoßene Methan zur Bilanz bei, da beide Verbindungen aus der pflanzlichen Biomasse stammen, die ihrerseits aus atmosphärischem Kohlenstoffdioxid fixiert wurde. Dies ist auch der Grund, warum das von Ihnen ausgeatmete CO₂ nicht zur Klimakrise beiträgt.

Erinnern Sie sich noch an den Anfang des Artikels, wo auf den Unterschied zwischen biogenem und fossilem Methan hingewiesen wird? Genau das ist der Unterschied: Der Kohlenstoff des biogenen Methans ist Teil des kurzfristigen Kreislaufs zwischen pflanzlicher Fixierung einerseits und erneuter Freisetzung in die Atmosphäre andererseits. Fossiles Methan entstammt als Erdgas uralten Lagerstätten, gigantischen Friedhöfen von marinen Schalentieren und Mikroorganismen, die vor Jahr-millionen gestorben und abgesunken sind, ohne dass ihre Biosubstanz zersetzt und wieder der Biosphäre zugeführt wurde. Die klimatischen Bedingungen waren zu diesem Zeitpunkt völlig andere als heute, auch Flora und Fauna unterschieden sich grundlegend. Mit der Verbrennung wird demnach Kohlenstoff freigesetzt, der nicht selten aus dem vorherigen Erdzeitalter stammt, als noch Dinosaurier die Erde beherrschten und die Säugetiere nur eine kleine Nische bildeten. Die Folgen sind dementsprechend gravierend.

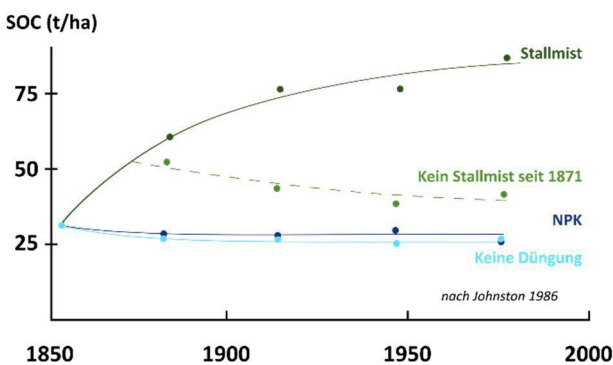
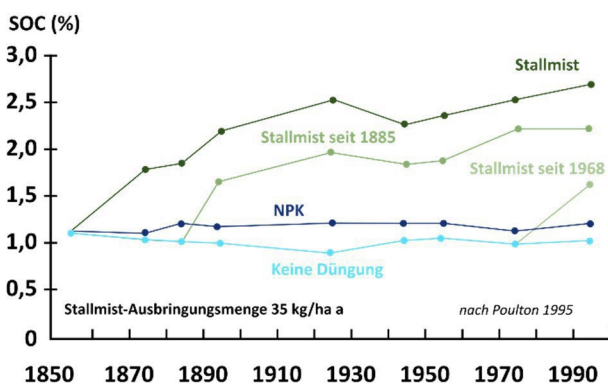
Nun gut, dann haben wir ja gar kein Problem mit dem Methan der Rinder? Leider ist es nicht ganz so einfach. Methan unterscheidet sich als Treibhausgas in zwei zentralen Punkten von CO₂. Erstens hat es eine wesentlich kürzere Lebensdauer, wie oben bereits besprochen. Zweitens wirkt es wesentlich stärker auf den Treibhauseffekt ein, und zwar um eine ganze Größenordnung. Damit ist es im hohen Maße klimarelevant, wenn auch für einen kürzere Lebensdauer, und weist nach gängigen Berechnungsmethoden einen erhöhten Treibhauseinfluss auf. Mit diesem Aspekt werden wir uns weiter unten noch beschäftigen. Vorerst müssen wir jedoch noch einmal einen Blick auf unsere Kuh auf der Weide werfen. Es gibt nämlich noch zwei Mechanismen, die dem Klimaeffekt entgegenarbeiten und zugunsten von Wiederkäuern wirken können. Der erste bezieht sich auf sogenannte methanotrophe Organismen, Einzeller, die Methan binden und als Energiequelle nutzen können. Sie siedeln sich bevorzugt in der Nähe von natürlichen und anthropogenen Methanquellen an, sind jedoch relativ unerforscht. Ihr Einfluss auf das globale Methanbudget ist unbestritten und wird vom Weltklimarat in ihren Zustandsberichten quantifiziert¹, wobei davon ausgegangen wird, dass die meisten durchlüfteten Böden natürliche Methansenken sind². Ob

und wie die Aktivität dieser Organismen gefördert werden kann, ist nicht geklärt. Studienergebnisse hinsichtlich des Einflusses von Beweidung sind nicht eindeutig und widersprechen sich teilweise^{3,4,5,6}. Angesichts des Potenzials bräuchte es hier dringend weitere Forschungsanstrengungen, da derzeit methanotrophe Organismen Methan in Höhe von etwa 30 % der globalen Methanemissionen aus der Tierhaltung binden.

Der zweite Mechanismus bezieht sich auf die Speicherung von Kohlenstoff in Böden, die sogenannte C-Sequestration. Seit COP21 und der 4 Promille-Initiative in Paris ist das Potenzial des Aufbaus organischen Materials in landwirtschaftlich genutzten Böden in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. Im Kern nimmt das von der französischen Regierung initiierte Projekt Bezug auf die theoretische Annahme, dass eine jährliche weltweite Steigerung der organischen Bodensubstanz um 4 ‰ ausreichen würde, die derzeitigen anthropogenen Treibhausgasemissionen zu kompensieren. In der Realität dürfte dieses Ziel nicht annähernd erreichbar sein,⁷ doch die Steigerung der C-Sequestrierung ist nichtsdestotrotz eine vielversprechende Klimaschutzmaßnahme, zumal hiervon auch die wichtige Bodenfruchtbarkeit profitiert. Grünland nimmt dabei eine zentrale Rolle ein, da es aufgrund permanenter Vegetationsdecke, der pflanzlichen Artenzusammensetzung und der Bodenruhe über größere Vorräte an gespeichertem organischen Kohlenstoff (SOC) verfügt, als Ackerflächen für den Marktfruchtanbau. Im Gegensatz zu Ackerflächen, deren Kohlenstoffbilanz unter anderem über fruchtartenspezifische Berechnungen ermittelt werden kann (etwa in der Humusbilanzierung nach VDLUFA von 2014), existieren jedoch noch keine Modelle, die die zuverlässige Abbildung der Kohlenstoffdynamik von Grünland ermöglichen würden. Hier werden gegebenenfalls Pauschalwerte zur Sequestration angenommen (etwa im KTBL-Berechnungsstandard BEK), die aber die spezifische Situation auf den Schlägen nicht abbilden können. Langfristig dürften jedoch Forschungsanstrengungen seitens verschiedener Institutionen (Universitäten, Landesanstalten, Thünen-Institute) zu einer besseren Methodik führen.

Kohlenstoff im Boden mehrten

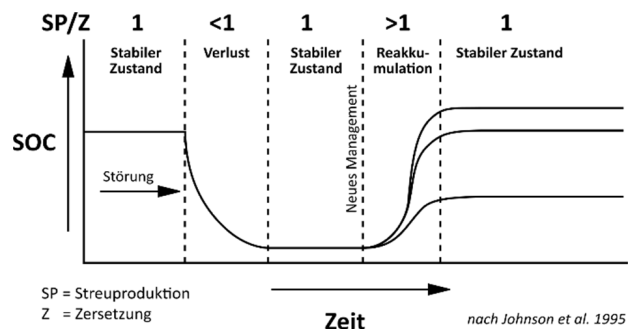
Ein wichtiger Faktor für die Mehrung des Bodenkohlenstoffs ist die Nutzung organischer Düngemittel, insbesondere von Stallmist und Gülle. Zur Verdeutlichung des positiven Effektes von erstere auf die SOC-Gehalte von Ackerböden kann ein sehr altes Langzeitexperiment aus Rothamsted herangezogen werden, dessen über hundert Jahre lange Messungsreihen den deutlichen Anstieg im Falle der Mistdüngung aufzeigen. Gleichzeitig zeigen die Daten auch, dass bei Einstellung der Stallmistdüngung selbst Jahrzehnte später immer noch nicht die niedrigen Ausgangswerte erreicht wurden, was auf eine sehr langfristige Wirkung hindeutet.



Messreihen aus Langzeitexperimenten aus Rothamsted zum Einfluss verschiedener Düngungsmittel auf den organischen Bodenkohlenstoff (nach POULTON 1995; JOHNSTON 1986).

Obwohl Gülle kein so hohes Potenzial wie Stallmist aufweist, trägt auch dieser Wirtschaftsdünger bei standortangepasster Ausbringung zur Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und der Kohlenstoffspeicherung bei.⁸ Die Tatsache, dass Gülle mittlerweile als wenig erstrebenswertes Abfallprodukt angesehen wird, das Böden und Gewässer vergiftet, sagt viel über die falschen Entscheidungen der Vergangenheit aus, die zu einer

unverhältnismäßig hohen Konzentration an Tierhaltungsbetrieben in bestimmten Regionen geführt haben, während Gemischtbetriebe mit kombinierter Tier- und Pflanzenproduktion in der Fläche verschwunden sind.⁹ Eine stärkere Reintegration der Tierbestände in die Fläche hinein zusammen mit einer Stärkung der Grünlandhaltung würde daher nicht nur der Kohlenstoffbindung und Bodenfruchtbarkeit zugutekommen, sondern auch die Nährstoffproblematik entschärfen.



Modell zur zeitlichen Dynamik von organischem Bodenkohlenstoff nach Managementwechsel (nach JOHNSON et al. 1995)

Da Grünland in der Regel bereits über einen hohen Kohlenstoffgehalt verfügt, ist es nicht immer leicht, die C-Sequestrationsrate zu verbessern. Allgemein wird davon ausgegangen, dass es eine Sättigungsmenge an SOC im Boden gibt, jenseits der keine weitere Akkumulation möglich ist und bei der sich Bildung und Zersetzung organischen Materials die Waage halten. Dieser stabile Zustand wird vermutlich primär durch Standortfaktoren (Bodentyp, Klima) bedingt und kann nur in geringerem Maße durch fruchtbarkeitsmehrende Maßnahmen beeinflusst werden.¹⁰ Allerdings ist die Genese organischer Bodensubstanz nach wie vor ein wichtiger Gegenstand der Forschung, was sich auch auf vorgeschlagene Managementmaßnahmen wie die Einbringung von Pflanzenkohle mit Wirtschaftsdünger auswirkt. Ein neues Modell wurde 2015 vorgeschlagen, das nicht mehr länger von der Bildung komplexer Humusverbindungen ausgeht, sondern stattdessen ein Kontinuum von unterschiedlichen Zersetzungsgraden zugrunde legt.¹¹ Die Implikationen eines solchen Paradigmenwechsels sind weitreichend und es bleibt abzuwarten, welche neuen Erkenntnisse die Forschung in den nächsten Jahren noch liefern wird.

Die neue Methode GWP*

Sollen THG-Bilanzen für Betriebe, Produkte oder Prozesse kalkuliert werden, ist es notwendig, Emissionen verschiedener Treibhausgase miteinander zu verrechnen, um eine einzelne, vergleichbare Zahl zu erhalten. Als Standardverfahren hat sich hierfür das sogenannte GWP100-Vorgehen etabliert (Abkürzung für global warming potential, zu Deutsch globales Erwärmungspotenzial), das den Erwärmungseffekt anderer Treibhausgase mit dem von CO₂ über einen Zeitraum von 100 Jahren vergleicht. Hieraus ergeben sich die Treibhausgaspotenziale, die kontinuierlich in den Berichten des Weltklimarates (IPCC) aktualisiert werden. Vielleicht haben Sie auch schon einmal gehört, Methan würde 25-mal stärker wirken als Kohlenstoffdioxid? Diese Angaben beziehen sich auf genau diese Treibhausgaspotenziale. Ergebnis einer solchen Berechnung sind die Kohlenstoffdioxidäquivalente, abgekürzt CO_{2eq} oder auch CO_{2e}, wie sie charakteristisch für CO₂-Fußabdrücke und THG-Bilanzen sind.

Diese Methode hat jedoch eine grundlegende Schwäche, die vom IPCC von Anfang an offen kommuniziert wurde: Sie eignet sich nicht gut, den Effekt kurzlebiger, potenter Treibhausgase wie Methan zu berechnen. Dem im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid wirkt sich Methan wesentlich stärker auf das Klima aus, hat aber auch nur eine sehr kurze Lebensdauer von etwa 12 Jahren. Genau dieser Effekt dominiert aber die Diskussion rund um die Rinder- und Milchviehhaltung, weshalb es sich lohnt, einen genaueren Blick auf Alternativen zu werfen, auch wenn es jetzt relativ technisch wird.

Wissenschaftler um den renommierten Physiker Myles Allen an der Universität Oxford haben bereits 2018 eine alternative Berechnungsmethode für sogenannte SLCPs (Abkürzung für short-lived climate pollutants, zu Deutsch kurzlebige Klimaschadstoffe) entwickelt, die deren Klimaeffekt besser abschätzen soll.¹⁴ Kernüberlegung ist, dass konstante beziehungsweise leicht abnehmende Methanemissionen keinen zusätzlichen Erwärmungseffekt ausüben, da das neu gebildete Methan lediglich altes Methan, das mittlerweile zerstört wurde, in der Atmosphäre ersetzt. Im Zuge dessen bleibt die Methankonzentration konstant, während es bei

Kohlenstoffdioxid zu einer Akkumulation und so zu einem kontinuierlichen Anstieg kommt.

Allen und seine Kollegen berücksichtigen dieses Verhalten in dem neuentwickelten und im sechsten IPCC-Bericht erläuterten Verfahren GWP*, das das Verfahren GWP₁₀₀ um einen zusätzlichen Term erweitert, um so den zeitlichen Verlauf der Methanemissionen zu berücksichtigen. Wird GWP* auf die Methanemissionen (Verdauungs- und Wirtschaftsdüngeremissionen) der Milchkuhhaltung in Deutschland angewendet, ergibt sich, dass die heutigen Milchkühe nicht länger zusätzlich zur Erwärmung beitragen. Ihre Methanemissionen ersetzen lediglich Emissionen aus der Vergangenheit. Die Implikationen sind dementsprechend gewaltig.

$$E_{\text{CO2we}} = \text{GWP}_{100} * (4 * E_{\text{SLCP}(t)} - 3,75 * E_{\text{SLCP}(t-20)})$$

Formel zur Berechnung des Erwärmung-Äquivalents im Verfahren GWP*. Zugrunde liegen derzeitige (t) Emissionsmengen und die Emissionsmengen aus der gleichen Quelle von vor 20 Jahren (t-20). Ist das Ergebnis null oder negativ, kommt es zu keiner zusätzlichen Erwärmung aufgrund der Emissionsquelle. In letzterem Fall ist gar ein Nettokühlungseffekt zu verzeichnen (Formel nach ALLEN et al. 2018).

Wichtig ist hierbei zu wissen, dass GWP* kein Freifahrtschein für einen weiteren ungebremsten Anstieg der globalen Rinderpopulation ist. Ganz im Gegenteil, bewertet doch das Verfahren neue Methanquellen (darunter fällt auch eine wachsende Wiederkäuerpopulation) als viermal so klimaschädlich wie GWP₁₀₀. Geht es um eine globale Ernährungsstrategie müssen daher weltweite Entwicklungen in den Blick genommen werden, um zu verhindern, dass einkommensstarke Länder davon profitieren, in der Vergangenheit große Herdenbestände aufgebaut zu haben, die sie jetzt stabil halten können, während einkommensschwache Länder mit kleinem, aber wachsendem Tierhaltungsektor benachteiligt werden. Gerade in armen Nationen ist der Besitz von Nutztvieh für viele Menschen von existenzieller Bedeutung für das Überleben ihrer Familien. Unter der Voraussetzung, dass globale Gerechtigkeitsaspekte eine zentrale Rolle spielen, bietet GWP* jedoch eine hervorragende Ausgangslage, die Transformation der Landwirtschaft neu zu denken. Hierfür muss allerdings erst einmal das Wachstum der globalen Rinderpopulation gestoppt werden.

Die Transformation der Landwirtschaft

So wie es jetzt ist, kann es nicht bleiben. Zu deutlich führen uns zahlreiche Modellrechnungen, Studien und Reporte vor Augen, dass ein Business-as-usual-Szenar in einen ökologischen Abgrund führen würde. Die Transformation unserer globalen Gemeinschaft, auch ihrer landwirtschaftlichen Aktivitäten, ist daher unvermeidlich. Doch wie soll diese für den Agrarbereich aussehen?

Einfache Schlagworte reichen hierfür nicht, auch wenn diese von Tierrechtlern und auch einigen Umweltaktivisten ins Feld geführt werden. Eine vegetarische Landwirtschaft, also mit Milch- und Eierproduktion, aber ohne Fleischverwertung? Absurd, würde es doch bedeuten, dass das bei der Tierhaltung zwangsläufig anfallende Fleisch (Alttiere, männliche Jungtiere) nicht verwertet werden dürfte und die ökologisch vorteilhafte Zweinutzungszucht obsolet wäre. Was privat sicherlich hervorragend funktioniert, taugt einfach nicht für ein ganzes Agrarökosystem und schon gar nicht für eine globale Ernährungsstrategie. Go vegan? Schöne Idee, die gleich in mehrfacher Hinsicht absolut kontraproduktiv wäre. Unser derzeitiges Agrarkonzept krankt gerade an der hohen Spezialisierung und der grundlegenden Trennung von Tier- und Pflanzenproduktion, was geschlossene Nährstoffkreisläufe, flächendeckenden Humusaufbau und andere Synergienutzungen verhindert. Insofern ist die Idee der veganen Landwirtschaft vielmehr ein Kind der modernen Agrarproduktion als einer alternativen Bewirtschaftungsform. Sie berücksichtigt auch nicht den enormen Anteil an für uns nicht verwertbarer Biomasse, die durch Ernterückstände, Grünlandnutzung und Lebensmittelverarbeitung (beispielsweise Presskuchen) auch in einer „veganen Nutzung“ anfallen würden und deren Verzicht wir uns nicht leisten können. Gleiches gilt für den Wegfall wertvoller Futterpflanzen (beispielsweise Luzerne, Klee gras) in der Fruchtfolge, der Untauglichkeit von Weidegebieten zur Ackernutzung und der fehlenden Landschaftspflege. Kurzum, ein solches Unterfangen würde mehr Probleme verursachen, als es klärt. Die Lösung kann also nur in der Mitte zwischen den Extremen Weiter so! und Go Vegan! liegen. Ein sukzessives Abschmelzen der Tierbestände bei gleichzeitiger Reintegration in die Fläche zurück,

ein Ausbau alternativer Ansätze sowie die Stärkung individueller Betriebsansätze zur Nachhaltigkeit versprechen eher Erfolg als brachiale Rezeptstrategien.

Welche Rolle spielt dabei die (Milch-)Kuh? Ihre Haltung bietet einen Ansatzpunkt für eine Reihe von klimatechnischen Vorteilen: Eine grasende Kuh auf der Weide holt sich ihr Futter selbstständig ohne Aufwendung von Energie seitens des Menschen. Ihr Wirtschaftsdünger schließt Nährstoffkreisläufe, fördert die Bodenfruchtbarkeit und erhöht Sequestrationsleistungen. Durch ihre tierischen Produkte kann Grünland erhalten und genutzt werden.

Zusammenfassung

Rinder stoßen wie alle Tiere klimaneutrales Kohlenstoffdioxid aus dem Zellatmungsprozess aus. Zusätzlich müssen sie sich des Methans entledigen, das bei der Verdauung durch Einzeller anfällt. Dabei wird kein zusätzlicher Kohlenstoff dem Kohlenstoffkreislauf zugeführt, was diese biogenen Methanemissionen grundlegend von der Verbrennung fossiler Brennstoffe unterscheidet. Das Methan entfaltet dabei nur eine Erwärmungswirkung, wenn es zu einem Anstieg der Emissionen kommt. Bei konstanten beziehungsweise leicht sinkenden Emissionen wird keine zusätzliche Erwärmung verursacht, was durch das neue Verfahren GWP abgebildet werden kann. Darüber hinaus stellen Nutztiere und ihre Wirtschaftsdünger einen wichtigen Faktor bei der Sequestration von Kohlenstoff im Boden dar. Der positive Effekt von Stallmist auf den organischen Bodenkohlenstoffgehalt und die Bodenfruchtbarkeit ist durch Langzeitexperimente ausführlich dokumentiert. Es scheint eine Sättigungsgrenze für die Akkumulation von Kohlenstoff zu geben, allerdings sind die Mechanismen hinter der Bildung organischer Bodensubstanz (Humus) unzureichend erforscht. Hinzu kommt ein Mangel an Humusbilanzmethoden für das Grünland. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse sind in Zukunft zu erwarten.*

Bezüglich der Transformation der Landwirtschaft können einzelne Schlagworte und Patentrezepte der Größe der Aufgabe nicht gerecht werden. Es braucht einen umfassenden Umbau unter enger Einbindung einer nachhaltigen Tierhaltung.

¹ CANADELL, J. G., MONTEIRO, P. M. S., COSTA, M. H., COTRIM DA CUNHA, L., COX, P. M., ELISEEV, A. V. et al. (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks*, Hg. v. IPCC.

² HOLMES, A. J., ROSLEV, P., McDONALD, I. R., IVERSEN, N., HENRIKSEN, K. & MURRELL, J. C. (1999): *Characterization of methanotrophic bacterial populations in soils showing atmospheric methane uptake. – In: Applied and Environmental Microbiology* 65 (8): 3312–3318; DOI: 10.1128/aem.65.8.3312-3318.1999.

³ WANG, Y., CAI, Y., HOU, F., JIA, Z. & BOWATTE, S. (2022): *Sheep grazing impacts on soil methanotrophs and their activity in typical steppe in the Loess Plateau China. – In: Applied Soil Ecology* 175: S. 104440; DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104440.

⁴ LI, Y., LIU, Y., PAN, H., HERNÁNDEZ, M., GUAN, X., WANG, W. et al. (2020): *Impact of grazing on shaping abundance and composition of active methanotrophs and methane oxidation activity in a grassland soil. – In: Biol. Fertil. Soils*. 56 (6): 799–810; DOI: 10.1007/s00374-020-01461-0.

⁵ SHRESTHA, B. M., BORK, E. W., CHANG, S. X., CARLYLE, C. N., MA, Z., DÖBERT, T. F. et al. (2020): *Adaptive Multi-Paddock Grazing Lowers Soil Greenhouse Gas Emission Potential by Altering Extra-cellular Enzyme Activity. – In: Agronomy* 10 (11): S. 1781; DOI: 10.3390/agronomy10111781.

⁶ SHRESTHA, B. M., BORK, E. W., CHANG, S. X., CARLYLE, C. N., MA, Z., DÖBERT, T. F. et al. (2020): *Adaptive Multi-Paddock Grazing Lowers Soil Greenhouse Gas Emission Potential by Altering Extra-cellular Enzyme Activity. – In: Agronomy* 10 (11): S. 1781; DOI: 10.3390/agronomy10111781.

⁷ POULTON, P., JOHNSTON, J., MACDONALD, A., WHITE, R. & POWLSON, D. (2018): *Major limitations to achieving "4 per 1000" increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. – In: Global Change Biology* 24 (6): 2563–2584; DOI: 10.1111/gcb.14066.

⁸ HÜTTL, R. F., PRECHTEL, A., BENS, O. (2008): *Humusversorgung von Böden in Deutschland. – Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung.*

⁹ BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (2022): *Viel Vieh, (zu) viel Gülle. – Online verfügbar unter www.landwirtschaft.de/diskussion-und-dialog/umwelt/viel-vieh-zu-viel-quelle* (Zugriff: 07.12.2022).

¹⁰ JOHNSON, M. G., LEVINE, E. R. & KERN, J. S. (1995): *Soil organic matter: Distribution, genesis, and management to reduce greenhouse gas emissions. – In: Water Air Soil Pollut* 82 (3–4): 593–615; DOI: 10.1007/BF00479414.

¹¹ LEHMANN, J. & KLEBER, M. (2015): *The contentious nature of soil organic matter. – In: Nature* 528 (7580): 60–68; DOI: 10.1038/nature16069.

¹² DON, A., FLESSA, H., MARX, K., POEPLAU, C., TIEMEYER, B. & OSTERBURG, B. (2018): *Die 4-Promille-Initiative „Böden für Ernährungssicherung und Klima“. – Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland*, Hg. v. Thünen-Institut für Agrarlimaschutz, Braunschweig.

¹³ FLESSA, H., DON, A., JACOBS, A., DECHOW, R., TIEMEYER, B. & POEPLAU, C. (2019): *Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. – Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung*, Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bonn.

¹⁴ ALLEN, M. R., SHINE, K. P., FUGLESTVEDT, J. S., MILLAR, R. J., CAIN, M., FRAME, D. J. & MACEY, A. H. (2018): *A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. – In: npj Clim Atmos Sci* 1 (1): 1–8; DOI: 10.1038/s41612-018-0026-8.



Foto: Martin Wiedemann-Bajohr

Das Ganze sehen

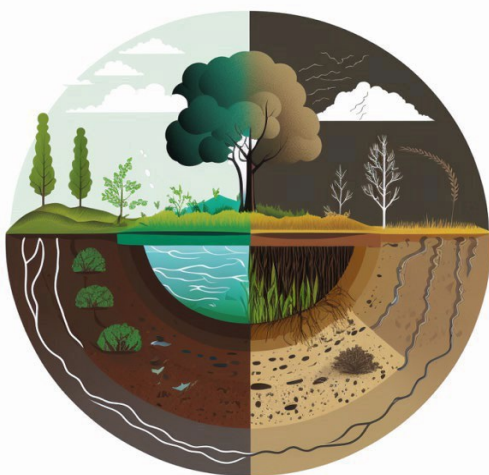
2.4 Der gestörte Wasserkreislauf

von Francisco Telles Varela

Der Klimawandel ist ein dringendes Problem, das den gesamten Planeten betrifft. Über die Ursachen und möglichen Lösungen für dieses drängende Problem wird jedoch noch viel diskutiert. Eine Theorie, die sich in der wissenschaftlichen Gemeinschaft immer mehr durchsetzt, ist die Vorstellung, dass degradierte Böden mit geringem Kohlenstoffgehalt als "Schwamm" für Wasser fungieren können, wodurch dieses als Wasserdampf in die Atmosphäre verdunstet und die Erwärmung verstärkt wird. In diesem Kapitel werden wir diese Theorie, die möglichen Auswirkungen auf die globale Erwärmung und den Wasserkreislauf sowie die möglichen Lösungen zur Wiederherstellung des Kohlenstoffs im Boden und des Wasserkreislaufs näher beleuchten.

Die Theorie des "Bodenschwamms"

Nach dieser Theorie können gesunde Böden mit einem hohen Kohlenstoffgehalt wie ein Schwamm funktionieren, der Wasser speichert und seine Verdunstung verhindert. Degradierte Böden mit geringem Kohlenstoffgehalt können Wasser jedoch nicht effektiv halten, was zu dessen Verdunstung in die Atmosphäre führt. Dieser Prozess schafft eine positive Rückkopplungsschleife, die den Erwärmungseffekt verstärkt. Die Theorie besagt, dass der gestörte Wasserkreislauf, der durch einen niedrigen Kohlenstoffgehalt im Boden verursacht wird, den Erwärmungseffekt noch verstärken kann (JEHNE 2017).



Grafik: Francisco Telles Varela

Einer der wichtigsten Belege für diese Theorie ist die Korrelation zwischen der organischen Substanz im Boden, dem Kohlenstoffgehalt des Bodens und

der Evapotranspiration. Studien haben gezeigt, dass bei niedrigem Kohlenstoffgehalt des Bodens der Boden weniger Wasser aufnimmt und mehr davon in die Atmosphäre verdunstet. Dies kann zur globalen Erwärmung beitragen (HATFIELD et al. 2013).

Die möglichen Auswirkungen dieser Theorie auf die globale Erwärmung und den Wasserkreislauf sind erheblich. Wenn die Theorie zutrifft, könnte die Wiederherstellung des Bodenkohlenstoffs ein wirksames Instrument zur Eindämmung der globalen Erwärmung und zur Wiederherstellung des Wasserkreislaufs sein. Der Wasserkreislauf spielt eine entscheidende Rolle für die Landwirtschaft und die Wasserversorgung, so dass jede Veränderung dieses Kreislaufs erhebliche Auswirkungen auf die Ernährungssicherheit und das menschliche Wohlergehen haben kann (PAUSTIAN et al. 2019).

Darüber hinaus kann die Wiederherstellung des Bodenkohlenstoffs auch dazu beitragen, dass der Boden mehr Wasser speichert und die Verdunstung verringert, was zur Kühlung des Planeten beitragen kann. Dies könnte sich positiv auf die Niederschlagsmuster auswirken und das Risiko von Dürren und Überschwemmungen verringern, die die Landwirtschaft und die Wasserversorgung beeinträchtigen können.

Wasserdampf als Treibhausgas

Wasserdampf ist ein entscheidendes Treibhausgas in der Erdatmosphäre, da er eine wichtige Rolle bei der Regulierung der Temperatur des Planeten

spielt und in vielen Modellen zur globalen Erwärmung nicht berücksichtigt wurde (HELD & SODEN 2003). Es absorbiert die Infrarotstrahlung und gibt sie wieder ab, so dass die Wärme effektiv eingeschlossen wird und nicht in den Weltraum entweichen kann, ähnlich wie bei einer Heizdecke.

Wenn die Sonne die Erdoberfläche erwärmt, wird die Wärmeenergie genutzt, um Wasser von der Oberfläche zu verdampfen. Bei diesem Prozess entsteht Wasserdampf, der in die Atmosphäre aufsteigt und durch Winde transportiert werden kann. Neben der Verdunstung geben auch Pflanzen Wasserdampf in die Atmosphäre ab, und zwar durch einen Prozess, der als Evapotranspiration bezeichnet wird. Bei diesem Prozess wird Wasser aus dem Boden in die Wurzeln der Pflanzen geleitet, von wo aus es durch die Pflanze wandert und aus den Blättern verdunstet (WANG & DICKINSON 2012).

Wie bereits erwähnt, besagt die Theorie des "Bodenschwamms", dass degradierte Böden mit geringer Pflanzendecke und geringem Gehalt an organischer Substanz/Kohlenstoff weniger Wasser aufnehmen können, wodurch es in die Atmosphäre verdunstet und eine positive Rückkopplungsschleife entsteht, die die Erwärmung verstärkt. Wenn der Boden trockener wird und mehr abbaut, kann er weniger Wasser aufnehmen, was zu einer erhöhten Verdunstung führt. Diese erhöhte Verdunstung führt zu mehr Wasserdampf in der Atmosphäre, was wiederum zu einer stärkeren Erwärmung führt.

Diese positive Rückkopplungsschleife ist besonders besorgniserregend, weil sie zu einer kontinuierlichen Erwärmung führen kann, wobei die Erwärmung zu mehr Verdunstung führt, was wiederum eine weitere Erwärmung zur Folge hat und so weiter. Wenn sich die Atmosphäre erwärmt, kann sie außerdem mehr Wasserdampf aufnehmen, was zu einer noch stärkeren Erwärmung führt. Aus diesem Grund sind Wissenschaftler besorgt über die möglichen Auswirkungen dieser Theorie auf den Wasserkreislauf und die globale Erwärmung.

Es ist wichtig zu wissen, dass Wasserdampf zwar ein natürliches Treibhausgas ist, der Anstieg des Wasserdampfs, der durch degradierte Böden mit

geringem Kohlenstoffgehalt verursacht wird, jedoch eine direkte Folge menschlicher Aktivitäten ist, wie zum Beispiel Abholzung, Überweidung und übermäßiger Einsatz von chemischen Düngemitteln. Daher ist es wichtig, gegen diese Aktivitäten vorzugehen, um die Auswirkungen von Wasserdampf als Treibhausgas abzuschwächen und das Potenzial einer unkontrollierten Erwärmung zu verringern.

Der Einfluss des Menschen auf den Wasserkreislauf

Menschliche Aktivitäten wie Abholzung, Überweidung und intensive Landwirtschaft haben zur Verschlechterung der Böden und zum Verlust von Bodenkohlenstoff geführt (SANDERMAN et al. 2017). Diese Aktivitäten können zu Bodenerosion, Verdichtung und Verlust an organischer Substanz führen, was die Fähigkeit des Bodens, Kohlenstoff zu speichern und Wasser zurückzuhalten, beeinträchtigen kann. Wenn der Kohlenstoffgehalt des Bodens niedrig ist, nimmt der Boden weniger Wasser auf, und es verdunstet mehr davon in die Atmosphäre. Dies kann zu veränderten Niederschlagsmustern, Dürren und Überschwemmungen führen, die die Landwirtschaft und die Wasserversorgung beeinträchtigen können (HATFIELD et al. 2013).

Zusätzlich zu diesen Auswirkungen können menschliche Aktivitäten den Wasserkreislauf auch direkt durch die Nutzung von Wasserressourcen beeinflussen. So kann beispielsweise die Entnahme von Wasser für Bewässerung, Industrie und Haushalte den natürlichen Fluss von Flüssen und Grundwasserleitern verändern, was zu Veränderungen im Wasserkreislauf führt. Auch der Klimawandel, der durch menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die Abholzung von Wäldern verursacht wird, kann den Wasserkreislauf durch Veränderungen der Temperatur und der Niederschlagsmuster beeinflussen. Um diesen Auswirkungen entgegenzuwirken, ist es wichtig, regenerative Landwirtschaftsmethoden anzuwenden, die den Bodenkohlenstoff wiederherstellen und die Gesundheit der Böden verbessern können. Auf diese Praktiken werden wir im Folgenden näher eingehen.

Naturbasierte Lösungen zur Wiederherstellung des Wasserkreislaufs

Der Klimawandel und menschliche Aktivitäten haben zur Verschlechterung der Böden und zum Verlust von Bodenkohlenstoff geführt, was sich wiederum auf den Wasserkreislauf ausgewirkt hat. Um den Wasserkreislauf wiederherzustellen, gibt es mehrere potenzielle Lösungen, die umgesetzt werden können, wobei die interessantesten naturbasierte Lösungen sind (BOSSIO et al. 2020; PAUSTIAN et al. 2016).

Regenerative Landwirtschaft und gut geführte Weidesysteme wurden als mögliche Lösungen für die Wiederherstellung des Kohlenstoffs im Boden und des Wasserkreislaufs vorgeschlagen. Diese Praktiken konzentrieren sich auf die Nachahmung natürlicher Ökosysteme und die Förderung der Artenvielfalt, was zu einer höheren Kohlenstoffbindung und Wasserrückhaltung im Boden beitragen kann. Regenerative Landwirtschaft umfasst Praktiken wie verbessertes Weidemanagement, Direktsaat und Deckfruchtanbau, die dazu beitragen können, die Bodengesundheit zu verbessern und die Erosion zu verringern.

Regenerative Weidesysteme können die natürlichen Weidemuster nachahmen, indem sie die Weidetiere abwechselnd auf verschiedenen Weiden grasen lassen und Ruhe- und Erholungsphasen für das Land vorsehen – eines der Hauptthemen dieses Leitfadens, über das Sie in den kommenden Kapiteln alles erfahren werden.

Die Agroforstwirtschaft ist eine weitere Lösung, die zur Wiederherstellung des Wasserkreislaufs eingesetzt werden kann. Bei dieser Praxis werden Bäume und andere mehrjährige Pflanzen in die landwirtschaftlichen Flächen integriert. Die Agroforstwirtschaft kann dazu beitragen, die im Boden gespeicherte Kohlenstoffmenge zu erhöhen und weitere Vorteile wie eine bessere Bodengesundheit, eine größere Artenvielfalt und ein besseres Wassermanagement zu bieten.

Die Erhaltung natürlicher Ökosysteme ist ebenfalls wichtig für die Wiederherstellung des Wasserkreislaufs.

Natürliche Ökosysteme wie Feuchtgebiete, Wälder und Grasland sind wichtig für die Aufrechterhaltung des Wasserkreislaufs, da sie wichtige Ökosystemleistungen wie die Wasserreinigung und die Regulierung des Wasserflusses erbringen.

Diese naturbasierten Lösungen können dazu beitragen, die globale Erwärmung abzuschwächen, indem sie die Wasserverdunstung verringern und die Wasserrückhaltung im Boden erhöhen. Durch die Verbesserung der Bodengesundheit und die Erhöhung der Kohlenstoffbindung können diese Praktiken auch dazu beitragen, die Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme zu verbessern und eine nachhaltige Nahrungsmittelproduktion zu unterstützen.

Es ist wichtig zu beachten, dass der Erfolg dieser Lösungen in hohem Maße von der Beteiligung der Gemeinschaft und der Mitgestaltung bei der Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Landbewirtschaftungspraktiken abhängt. Gemeinschaftsbasierte Ansätze können dazu beitragen, dass die Landbewirtschaftungspraktiken auf die spezifischen Bedürfnisse und Bedingungen einer bestimmten Gemeinschaft zugeschnitten sind. Dies kann dazu beitragen, dass die Lösungen nachhaltig sind und von der lokalen Bevölkerung unterstützt werden.

Fazit

Die Theorie des "Bodenschwamms" besagt, dass degradierte Böden mit geringem Kohlenstoffgehalt als "Schwamm" für Wasser fungieren können, wodurch dieses in die Atmosphäre verdunstet und die Erwärmung verstärkt wird. Diese Theorie besagt, dass der Wasserkreislauf durch niedrige Kohlenstoffgehalte in den Böden gestört wird, die durch menschliche Praktiken verursacht werden, und dass dies zu einer Verstärkung der Erwärmung führen kann. Die potenziellen Auswirkungen dieser Theorie auf die globale Erwärmung und den Wasserkreislauf sind erheblich, da der Wasserkreislauf eine entscheidende Rolle für die Landwirtschaft und die Wasserversorgung spielt.

Um den Wasserkreislauf wiederherzustellen, können Lösungen wie regenerative Landwirtschaft, gut geführte Weidesysteme, Agroforstwirtschaft und die Erhaltung natürlicher Ökosysteme eingesetzt werden. Diese Lösungen können dazu beitragen, die globale Erwärmung abzuschwächen, indem sie die Wasserverdunstung verringern, indem sie die Wasserrückhaltung im Boden erhöhen und dafür sorgen, dass eine grüne Decke über gesunden Böden erhalten bleibt, die eine kühlende Wirkung auf die Atmosphäre des Planeten hat. Der Erfolg dieser potenziellen Lö-

sung hängt jedoch in hohem Maße von der Beteiligung der Gemeinschaft und der Mitgestaltung bei der Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Landbewirtschaftungspraktiken ab. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, gegen menschliche Aktivitäten wie Abholzung, Überweidung und den übermäßigen Einsatz chemischer Düngemittel vorzugehen, um den Kohlenstoffgehalt des Bodens und den Wasserkreislauf wiederherzustellen; hierfür sind gemeinsame Anstrengungen auf globaler und lokaler Ebene erforderlich.

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* 2020 3:5, 3(5): 391–398; <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>.

HATFIELD, J. L., CRUSE, R. M. & TOMER, M. D. (2013): *Convergence of agricultural intensification and climate change in the Midwestern United States: implications for soil and water conservation*. – *Marine and Freshwater Research*, 64(5): 423–435; <https://doi.org/10.1071/MF12164>.

HELD, I. M. & SODEN, B. J. (2003): *Water Vapor Feedback and Global Warming*. – 441–475; www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.energy.25.1.441.

JEHNE, W. (2017): *Regenerate Earth - The practical drawdown of 20 billion tonnes of carbon back into soils annually, to rehydrate biosystems and safely cool climates*.

PAUSTIAN, K., LARSON, E., KENT, J., MARK, E. & SWAN, A. (2019): *Soil C Sequestration as a Biological Negative Emission Strategy*. – *Frontiers in Climate*, 1, 8; <https://doi.org/10.3389/FCLIM.2019.00008/BIBTEX>.
PAUSTIAN, K., LEHMANN, J., OGLE, S., REAY, D., ROBERTSON, G. P. & SMITH, P. (2016): *Climate-smart soils*. – *Nature*, 532(7597): 49–57; <https://doi.org/10.1038/NATURE17174>.

SANDERMAN, J., HENGL, T. & FISKE, G. J. (2017): *Soil carbon debt of 12,000 years of human land use*. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(36): 9575–9580; https://doi.org/10.1073/PNAS.1706103114/SUPPL_FILE/PNAS.1706103114.SAPP.PDF.

WANG, K. & DICKINSON, R. E. (2012): *A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability*. – *Reviews of Geophysics*, 50(2), 2005; <https://doi.org/10.1029/2011RG000373>.

Das Ganze sehen

2.5 Belebter Boden

von Annika Held

Noch vor zehn, zwanzig Jahren wurde dem Boden im Agrarökosystem jenseits von Vertretern der ökologischen Landwirtschaft und universitären Experten mit entsprechendem Forschungsgebiet relativ wenig Beachtung geschenkt. Bodenfruchtbarkeit wurde oft gleichgesetzt mit ausreichendem Nährstoffgehalt und hohe Erträge galten als Beweis eines gesunden Bodens, unabhängig von der Höhe des Aufwandes an Material und Energie, der hierfür jeweils anfiel. Der Fokus in der Forschung lag primär auf den chemischen und physikalischen Dimensionen des Bodens, die biologische Komponente stand – zumindest bei den Agrarwissenschaften – eher im Hintergrund. In den letzten Jahren rückt jedoch das Bodenleben und seine organischen Überreste in Form von Humus zunehmend in den Blickpunkt, insbesondere seit auch in der gesellschaftlichen Diskussion immer öfter die Schlagworte Humusmehrung, Klimaschutz, C-Sequestration und Bodensenke fallen. Die Klimakrise bietet daher auch eine Gelegenheit einen neuen Blick auf dieses faszinierende Thema an der Grenze zwischen Agrarwissenschaften und (Mikro-)Biologie zu werfen.

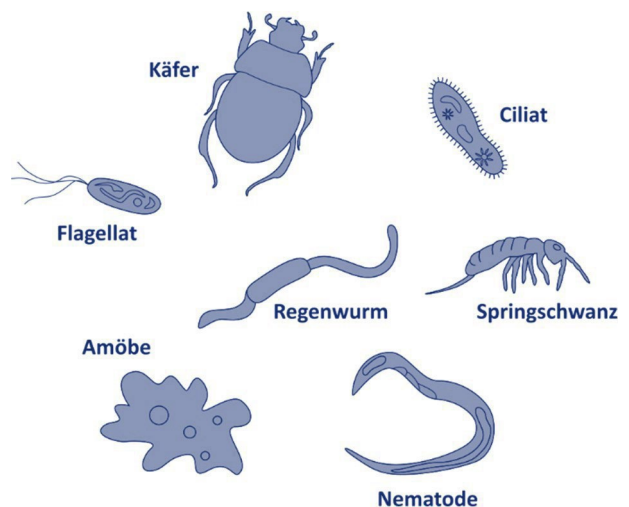
Gestatten: Unser Team for Soil

Dass unsere Böden eine Vielzahl von Organismen beherbergen, dürfte vielen mittlerweile geläufig sein. Regenwürmer sind solche Vertreter, die nicht nur dem Landwirt spontan einfallen, sondern auch dem begeisterten Hobbygärtner, aber das war übrigens nicht immer so! Bis ins 19. Jahrhundert hinein glaubten Bauern, dass die fleißigen Würmer hinterhältige Schädlinge seien, die ihnen die Erde wegfressen würden. Erst der berühmte Charles Darwin, Begründer der Evolutionstheorie, rehabilitierte ihr Ansehen als wertvolle Helfer im Garten und Feld nach jahrelangem Studium ihres Verhaltens.

Die zu den Ringelwürmern (Annelida) gehörenden Regenwürmer sind in der Tat äußerst wichtige Bodenbewohner, aber bei weitem nicht die einzigen. Innerhalb des Tierreiches tummeln sich neben zahlreichen Arten der Insekten (Hexapoda, ja nicht ganz taxonomisch korrekt, ich weiß), Tausendfüßer (Myriapoda, die in der Regel gar keine tausend Füße haben) und Spinnentiere (Chelicerata, die mit den acht Beinen) auch Fadenwürmer (Nematoda) und sogar einige Säugetiere, wie Mäuse und Maulwürfe. Dieser tierische Zoo wird ergänzt von Bodenalgeln und Angehörigen des Pilzreiches, wobei letztere oft Symbiosen mit Pflanzen eingehen und für die Bodenfruchtbarkeit eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen. Hinzu kommt eine ganze

Menagerie an Einzellern (etwa Amöben, Flagellaten und Chiliaten), Bakterien und Archaeen.

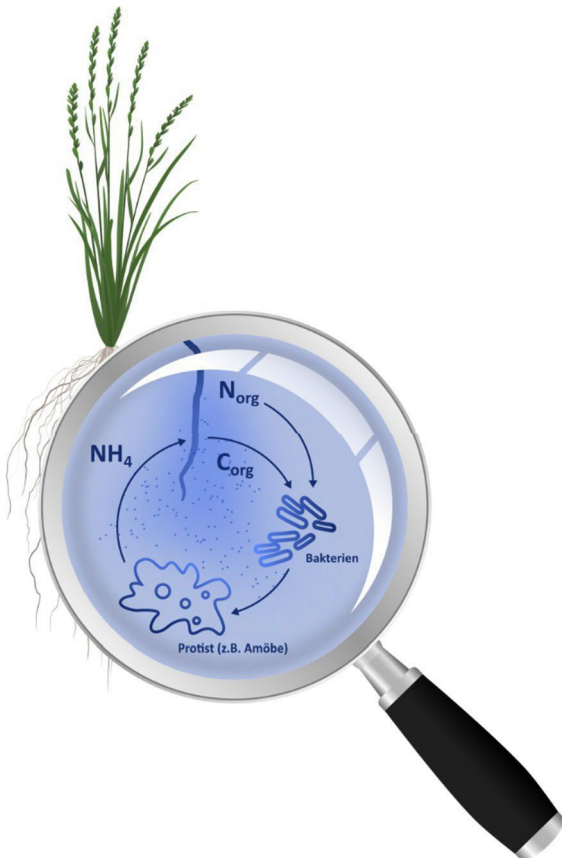
Alle diese Organismen fressen und werden gefressen, ebenso vermehren sie sich und sterben letztendlich. Sie sind existenziell für den Stoff- und Energieumsatz im Boden, sie beseitigen tote organische Materie, wandeln diese in Nährstoffe um, sorgen für eine Reinigung des Bodens und Bodenswassers von natürlichen und anthropogenen Rückständen und halten sich gegenseitig in Schach. Letzteres ist besonders wichtig, denn neben zahlreichen Nützlingen sind manche Bodenbewohner bedeutende Pflanzenschädlinge.



Kleine Auswahl an Bodenleben, © Annika Held

Nährstoffrecycling par excellence

Die Rolle des Bodennetzwerkes im Nährstoffkreislauf lässt sich am besten am terrestrischen mikrobiellen Kreislauf nachvollziehen. Bereits Mitte der achtziger Jahre entwickelt, demonstriert das Konzept des *microbial loop* den ineinandergreifenden Prozess, der hinter der Verstoffwechslung organischer Materie steht, am Beispiel von Kohlenstoff und des wichtigen Wachstumsnährstoff Stickstoff.¹ Liegt letzterer in komplexer organischer Form vor, etwa bei Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Substanzen, ist er für Pflanzen nicht unmittelbar verfügbar. Es gilt zwar als gesichert, dass Pflanzen kleine (niedermolekulare) Stickstoffverbindungen aufnehmen und eventuell sogar Proteine erschließen können,² dennoch sind anorganische Stickstoffformen wie Ammonium und Nitrat elementar für das Wachstum und damit für den Ertrag. Hier kommen andere Akteure ins Spiel, die die Verstoffwechslung übernehmen.



Der mikrobielle Kreislauf in der Rhizosphäre ermöglicht einer Pflanze indirekt Nährstoffquellen zu nutzen, die nicht unmittelbar verfügbar sind, © Annika Held

Pflanzen sondern über ihre Wurzeln kohlenstoffreiche Verbindungen in den umliegenden Bodenraum ab. Diese sogenannten Exsudate dienen als

„Leckerli“ für zahlreiche Bakterien, die sich um die Wurzeln in der Rhizosphäre aufhalten und wiederum als Nahrung für weitere Organismen dienen. Nicht zuletzt aufgrund dieser Aktivitäten ist der Raum um Pflanzenwurzeln besonders dicht besiedelt. Bakterien benötigen allerdings nicht nur Kohlenstoffverbindungen als Energielieferanten, sondern auch Nährstoffe wie Stickstoff. Um an diesen heranzukommen, verstoffwechseln sie organische Materie und damit auch organisch gebundenen Stickstoff (N_{org}), also jene Formen von Stickstoff, die für Pflanzen nicht ohne weiteres verfügbar sind. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich dabei um abgestorbenes Pflanzenmaterial, Überreste von toten Tieren und Einzellern oder um ausgebrachte Wirtschaftsdünger handelt, wobei an diesen Zersetzungsprozessen natürlich noch eine Vielzahl von anderen Organismen beteiligt sind.

Nun heißt es: Fressen und gefressen werden und so werden auch diese Bakterien wiederum Beute von Protisten, wie etwa einer Amöbe, die die Hohlräume im Boden (sogenannte Bodenporen) regelrecht abgrast wie eine Kuh auf der Weide. Wenn diese Amöbe ein Bakterium „verspeist“, absorbiert sie die ganze Beutezelle in ihre eigene Zelle, wo nach und nach das Bakterium aufgelöst wird. Nun weist die Beute ein bestimmtes, an sich variables Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff auf, das C:N-Verhältnis. Dieses Verhältnis passt aber nicht zwangsläufig zu den Bedingungen der Amöbe. Enthält das Bakterium mehr Stickstoff als die Räuberin verwerten kann, scheidet sie diesen wieder aus, ganz so wie es auch Rinder in ihrem Urin tun, wenn sie mit einem Stickstoff-Überschuss gefüttert werden. Nun ist eine Amöbe als Einzeller nicht damit konfrontiert, Harn oder Exkremente bilden zu müssen. Sie scheidet den Stickstoff einfach direkt in Form von Ammonium (NH_4) aus, der wichtigsten Stickstoffform für Pflanzen.

Und so schließt sich der Kreis: Die Pflanze gibt ihren mühsam in der Photosynthese fixierten Kohlenstoff als Exsudat schließlich nicht umsonst ab. Indem sie sich Bakterien und Protisten „hält“, ist sie in der Lage, sich indirekt Stickstoffquellen zu erschließen, die ihr sonst verwehrt geblieben wären. Genial, nicht wahr? Und nicht möglich ohne das Bodenleben.

¹ CLARHOLM, M. (1985): Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. – In: *Soil Biology and Biochemistry* 17 (2): 181–187; DOI: 10.1016/0038-0717(85)90113-0.

² PAUNGFOD-LONHIENNE, C., LONHIENNE, T. G. A., RENTSCH, D., ROBINSON, N., CHRISTIE, M., WEBB, R. I. et al. (2008): Plants can use protein as a nitrogen source without assistance from other organisms. – In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (11): 4524–4529; DOI: 10.1073/pnas.0712078105.

³ BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2023): Bestandteile von Humus und Humusqualität. – Online verfügbar unter www.lfl.bayern.de/iab/boden/031122/index.php (Zugriff: 20.01.2023).

⁴ LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2023): Die neue Humustheorie und was wir daraus für die Landwirtschaft ableiten können. – Online verfügbar unter www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/boden/humustheorie.htm#q04 (Zugriff: 20.01.2023).

⁵ SOLLINS, P., HOMANN, P., CALDWELL & BRUCE A. (1996): Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. – In: *Geoderma* 74 (1–2): 65–105; DOI: 10.1016/S0016-7061(96)00036-5.

⁶ KLOTZBÜCHER, T., KAISER, K., GUGGENBERGER, G., GATZEK, C. & KALBITZ, K. (2011): A new conceptual model for the fate of lignin in decomposing plant litter. – In: *Ecology* 92 (5):1052–1062; DOI: 10.1890/10-1307.1.

⁷ LEHMANN, J. & KLEBER, M. (2015): The contentious nature of soil organic matter. – In: *Nature* 528 (7580): 60–68. DOI: 10.1038/nature16069.



Foto: Martin Wiedemann-Bajohr

2.6 Die Bedeutung von Grünland

von Bettina Burkart-Aicher und Franziska Hanko

Mit einer Gesamtfläche von rund 5 Millionen Hektar macht Grünland mehr als ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland aus – ein wichtiges Element der landwirtschaftlichen Produktion, vor allem für die Erzeugung von Futter und damit von Milch und Fleisch. Aber bei weitem nicht nur! In einer multifunktionalen Landwirtschaft sind Wiesen und Weiden ein unentbehrlicher Bestandteil. Sie prägen unsere Kulturlandschaften, sind unverzichtbar für deren Attraktivität. Als Lebensraum eines großen Teils der heimischen Flora und Fauna haben sie eine besondere Bedeutung für den Erhalt und Schutz der biologischen Vielfalt. Viele wichtige Funktionen im Hochwasser-, Boden- und Klimaschutz werden von Grünland erfüllt. Dennoch ist auch das Grünland gravierenden Veränderungsprozessen unterworfen: seit Jahren sind die Flächenanteile rückläufig, der Klimawandel verursacht vielfältige Probleme, die voranschreitende Intensivierung und Technisierung der Bewirtschaftung bewirkt auf allen Ebenen der Biodiversität erhebliche negative Veränderungen. Grünland ist unter Druck.

Grünland als Lebensraum

Wiesen und Weiden zählen zu den artenreichsten Lebensräumen Mitteleuropas. In Deutschland kommen im Dauergrünland 52 % aller höheren Pflanzenarten vor, das sind mehr als 2.000 Farn- und Blütenpflanzenarten. Auf den artenreichsten Ausprägungen können bis zu 60 Pflanzenarten pro Quadratmeter gezählt werden. Grünland bietet mit seiner Vielfalt an Strukturen und zeitlich gestaffelten Blühabfolgen auch eine große Vielfalt an Tierlebensräumen. Insekten und andere Klein(st)lebewesen ebenso wie Säugetiere, Vögel, Amphibien tummeln sich hier. Häufig bestehen enge Wechselbeziehungen zwischen Flora und Fauna. Die Faustzahl von 8–10 Tierarten pro Pflanze verdeutlicht, welche Ausmaße die Biodiversität auf Wiesen und Weiden annehmen kann (Dierschke & Briemle 2002; Sturm et al. 2018). Dabei variieren die Grünlandstandorte nicht nur in ihrer Artenzusammensetzung, sondern auch in der genetischen Variation ihrer Arten. Hier kommt deren Geschichte ins Spiel.

Kulturgut und Naturerbe

Die historischen Landnutzungen spiegeln sich bis heute in der floristischen Zusammensetzung sowie in den Eigenschaften des Bodens wider. Entstanden sind die meisten regionaltypischen

Wiesen und Weiden durch den wirtschaftenden Menschen, und zwar über sehr lange Zeiträume seit der letzten Eiszeit. Viele der typischen Grünlandpflanzen sind gegen Ende der letzten Eiszeit und vor allem in der Nacheiszeit aus verschiedenen Rückzugsräumen nach Mitteleuropa wieder eingewandert, einige folgten mit der Sesshaftwerdung des Menschen (sogenannte Archäophyten), wenige sind in neuer Zeit hinzugekommen (Neophyten). Erste Wiesen und Weiden gab es vermutlich schon in der Bronzezeit. Neben Ackerland sind sie der älteste Lebensraum unserer Kulturlandschaft. Die Betrachtung dieser historischen Entwicklung ist entscheidend, um Wertigkeiten und Zusammenhänge zu erkennen und zu verstehen. Teilweise bis weit in das 19. Jahrhundert hinein stellte die Weidewirtschaft einen wesentlichen Bestandteil der Grünlandnutzung dar, häufig in Form von Gemeinschaftsweiden (Allmende). Durch Ressourcenknappheit bedingt, wurden darüber hinaus im Jahresverlauf (zu unterschiedlichen Zeiten, mit verschiedenen Tierkategorien und in unterschiedlicher Intensität) so gut wie alle Teile der Landschaft beweidet. Die großflächig-extensive Beweidung war daher mutmaßlich auch in Mitteleuropa ein wesentlicher Faktor der gemeinsamen Entwicklung von Arten und Artengemeinschaften (Koevolution) und entscheidendes Bindeglied

um Lebensräume miteinander zu vernetzen (Biotopverbund). Allein durch Schnittnutzung bewirtschaftete „Mähwiesen“ oder „Dauerwiesen“ sind in flächenhaft relevanter Ausdehnung eine Entwicklung der letzten 100 bis 150 Jahre, also eine vergleichsweise junge Entwicklung des Kulturgraslandes. Der Höhepunkt der Artenvielfalt im Grünland liegt vermutlich in Zeiten halbextensiver bis halbintensiver Landnutzung, etwa vom 18. bis Mitte des 20. Jahrhunderts. Mitteleuropa ist aufgrund seiner Geschichte als Ursprungs- und Diversitätszentrum für viele Wiesen- und Weidepflanzen zu sehen, ein großes Genreservoir für Kulturpflanzen (DIERSCHKE & BRIEMLE 2002; KAPFER 2010; SCHREIBER et al. 2009).

Grünland im Umbruch

Erst in jüngster Zeit werden Wiesen und Weiden durch Umbruch und Neueinsaat geschaffen, meist in der Ausprägung eher artenarmer, naturferner Bestände. Die Nutzung wird intensiviert, vier bis sechs Schnitte pro Jahr mit der entsprechenden Düngung. Nur wenige Wildkräuter kommen mit dieser Bewirtschaftung zurecht. Im Gegensatz zu extensiv bewirtschafteten Flächen stehen auf diesen Wiesen oft weniger als 20 Pflanzenarten. Der Grasanteil nimmt zu, es entstehen monotone „Grasäcker“ dominiert von Wiesenfuchsschwanz oder Weidelgras. Hoch effiziente und technisierte Erntemethoden gefährden auch die Fauna. Weniger mobile Tiere werden beim Mähen getötet oder schwer verletzt, die übrig gebliebenen in Silageballen verpackt. Durch die hohe Schlagkraft moderner Erntemaschinen sind innerhalb kurzer Zeit ganze Landstriche abgemäht und siliert. Randstreifen, Brachen oder sonstige Rückzugsgebiete fehlen weitgehend. Vereinfacht gesagt: je intensiver eine Fläche gemäht/beweidet und gedüngt wird, desto geringer ist in der Regel die Artenvielfalt. Auch das Gegenteil, die Brache, wirkt sich längerfristig gesehen negativ für die Grünlandbewohner aus. Fehlt jegliche menschliche Nutzung, so stellt sich in den meisten Fällen zunächst eine Verbuschung und im weiteren Zeitverlauf eine Wiederbewaldung der Fläche ein.

In jedem Fall gehen nicht nur bestimmte Grünlandarten, sondern auch die genetische Variation dieser Arten verloren. Diese ist jedoch insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels von hoher Bedeutung. Anpassung von Arten an sich ändernde Klimabedingungen kann nur gelingen, wenn eine möglichst große Zahl unterschiedlich angepasster Genotypen vorhanden ist (BFN 2014).

Grünland speichert, filtert, puffert

Wiesen und Weiden speichern deutlich mehr Wasser als Ackerflächen. Das liegt am stärker durchwurzelten Boden und dem höheren Humusgehalt. Der Oberflächenabfluss, also Wasser, das unmittelbar wieder abfließt, ist im Vergleich zu Ackerflächen nur halb so hoch. Die Durchwurzelung und der dauerhafte, dichte Bewuchs von Wiesen und Weiden bietet auch Schutz vor Bodenerosion. Insbesondere in steileren Lagen oder Flusstälern wird auf Ackerflächen bis zu zehnmal mehr Boden abgetragen als im Grünland. Durch das Wurzelwerk und den Aufwuchs wird durchsickerndes Oberflächenwasser außerdem gefiltert, es kommt sehr selten zum verstärkten Eintrag von Schad- oder Nährstoffen (wie beispielsweise Nitrat) in das Grundwasser. Auch angrenzende empfindliche Biotoptypen können durch Grünland gegenüber intensiveren Nutzungssystemen abgepuffert werden (BFN 2014).

Grünland und Klimaschutz

Grünland wirkt für den Klimaschutz in zweierlei Weise: Es ist eine CO₂-Senke und hat eine Rückhaltefunktion für Kohlenstoff. Beide Effekte sind gerade im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung bedeutend. In nur 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (vorwiegend Grünland) werden mehr als 35 % der gesamten Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlicher Böden in Deutschland gespeichert. Dabei ist dringend zu beachten, dass bei einem Umbruch von Grünland zu Acker der gespeicherte Kohlenstoff rasch mineralisiert und als CO₂ freigesetzt wird, teilweise zusammen mit N₂O, einem Treibhausgas mit vielfach höherer Wirkung als CO₂.

Dem kann durch die Neuanschaffung von Grünland nur begrenzt gegengesteuert werden, denn die Festsetzungsrate von Kohlenstoff ist nur etwa halb so groß wie die der Freisetzung bei Umbruch. Die CO₂-Senkenfunktion besteht so lange, bis der Boden das für Grünland spezifische Kohlenstoffgleichgewicht erreicht hat. Dieser Sättigungszustand wird in der Regel erst nach mehr als 100 Jahren erreicht. Folglich ist anzunehmen, dass Grünland in Deutschland überwiegend eine CO₂-Senke darstellt.

Die Rechtfertigung Grünland umzubereiten, um vermehrt Energiepflanzen anzubauen und so letztendlich eine bessere Klimabilanz zu erzielen, sollte einer umfassenden Bewertung unterzogen werden. Die Klimabilanz hängt in diesem Fall stark von direkten und indirekten Landnutzungsänderungen ab, die durch eine derartige Umnutzung verursacht werden. Häufig ist nicht sauber kalkuliert, wie das fehlende Grünfutter ersetzt wird (Herkunft, Anbauweise, mögliche Rodungsflächen im Vorfeld) und welche Folgen dabei entstehen. Die sonstigen Leistungen des Grünlandes werden oft gar nicht berücksichtigt. Die Verwendung von Biokraftstoffen als Klimaschutzmaßnahme ist vor diesem Hintergrund kritisch, wenn nicht sogar kontraproduktiv zu sehen (FLESSA et al. 2012; POEPLAU et al. 2011; VON HAAREN et al. 2010).

Grünland ist schön

Fragt man Menschen in Deutschland nach ihren Assoziationen zum Begriff „Natur“, werden mit am häufigsten Wiesen und Weiden genannt. Im Rahmen einer Naturbewusstseinsstudie kam das Grünland mit 38 % direkt nach dem Wald mit 47 % der Befragten. Hinzu kommt, dass viele wichtige Tourismusregionen wie das Allgäu oder die Niederungen Norddeutschlands von Grünland geprägte Landschaften sind. Ihr Erscheinungsbild zieht die Menschen an und übt einen ästhetischen Reiz aus, der sich für diese Regionen auch in wirtschaftlichem Erfolg im Tourismussektor bilanzieren lässt (ECOLOG 2010).

Heutzutage kennen die Leute vor allem den Preis und nicht den Wert. (Oscar Wilde)

Viele Leistungen, die insbesondere das artenreiche Grünland erbringt, werden kaum in Bilanzierungen berücksichtigt. Im Vordergrund steht häufig immer noch die Produktionsmaximierung. „Gratis-Naturkräfte“ werden wenig beachtet. Dabei bilden gerade sie oftmals die Grundlage für das Wirtschaften und die Existenz des Menschen auf der Erde. Um diesem Defizit entgegenzuwirken, wurde der Begriff Ökosystem(dienst)leistungen geprägt. In der Fachliteratur wird eine Reihe von Definitionen für Ökosystemleistungen benannt, der Begriff wird verschieden weit gefasst. Gemeint sind Vorteile und Nutzen (Benefits), die Menschen von Ökosystemen (kostenfrei) beziehen. Versucht man dieses Konzept auf Grünland anzuwenden wird schnell klar: Grünlandökosysteme sind sehr vielfältig. Eine pauschale Zuordnung und Bewertung sind deshalb nicht möglich, es bedarf differenzierter Analysen. Standort-, Nutzungs- und Umgebungsfaktoren sind entscheidend. Soll eine Monetarisierung erfolgen, müssen sozioökonomische Faktoren beachtet werden. Eine konkrete Bewertung der Ökosystemleistungen kann nur flächenbezogen gelingen. Im Folgenden sollen die Leistungen von Wiesen und Weiden beispielhaft und in Anlehnung an das Millennium Ecosystem Assessment skizziert werden (siehe blauer Kasten auf übernächster Seite)

(ALCAMO & BENNET 2003; MATZDORF et al. 2010; MEA 2005; STURM et al. 2018).

Grünland unter Druck

Grünland ist ein multifunktionales Ökosystem, welches zahlreiche Leistungen und Dienste bietet. Dennoch müssen immer mehr Grünlandflächen anderen Nutzungen weichen. Die ökologische Qualität der verbleibenden Wiesen und Weiden verschlechtert sich rapide und drastisch. Die systematische Unterbewertung der Ökosystemleistungen, insbesondere von artenreichem Grünland, ist eine der Hauptursachen für diese Entwicklung. Über eine ökonomische Bewertung der Ökosystemleistungen könnten Entscheidungsprozesse besser im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung funktionieren.

Eine Überbeanspruchung der natürlichen Ressourcen würde verhindert. Es muss folglich Ziel einer nachhaltigen multifunktionalen Landnutzung sein, in größeren Raumeinheiten zu denken und dabei möglichst vielfältige Versorgungs-, Regulations- und soziokulturelle Leistungen zu fördern.

Hier gilt es die Bewusstseinsbildung bei Landnutzern, in der Bevölkerung sowie auf Ebene der Politik voranzutreiben. Eine mögliche Grundlage

für die Kommunikation bietet beispielsweise der Ansatz, den starken Zusammenhang zwischen der Gesundheit von Menschen, Tieren sowie Umwelt und Natur stärker zu thematisieren (One-Health-Ansatz, BMUB & BfN 2023). Darüber hinaus sollten dringend konkrete Kosten-Nutzen-Analysen sowie Versorgungsbilanzen erarbeitet werden, die als Grundlage für ein verbessertes Landschafts- und Ressourcenmanagement dienen. Zukunftsfähige Nutzungsmöglichkeiten müssen diskutiert und erprobt werden.

ALCAMO, J. & BENNETT, E. (2003): *Millennium Ecosystem Assessment – Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. – Island Press, Washington: 245 S.

ALCAMO, J. & BENNETT, E. (Program Millennium, 2003): *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework For Assessment*.

BfN (= BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, Hrsg., 2014): *Grünlandreport*. – 34 S.; www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei_0.pdf.

BMUB & BfN (= BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT & BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ; Hrsg., 2023): *Naturbewusstsein 2021 – Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt*: www.bmu.de/publikation/naturbewusstsein-2021.

DIERSCHKE, H. & BRIEMLE, G. (2002): *Kulturgrasland*. – Verlag Eugen Ulmer: 240 S.

ECOLOG-INSTITUT FÜR SOZIALWISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNG UND BILDUNG (Hrsg., 2010): *Umfrage Naturbewusstsein – Abschlussbericht*. – www.bfn.de/sites/default/files/2021-05/Wissenschaftlicher_Abschlussbericht_Naturbewusstsein2009.pdf.

FLESSA, H., MÜLLER, D., PLASSMANN, K., OSTERBURG, B., TECHEN, A.-K., NITSCH, H., NIEBERG, H., SANDERS, J., MEYER ZU HARTLAGE, O., BECKMANN, E. (2012): *Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor*. – *Landbauforschung (Sonderheft)* 361, Braunschweig: 437 S.

JEDICKE, E. (2014): *Ökosystemleistungen des Grünlandes – Welche Grünlandnutzung brauchen wir?* – 58. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Arnstadt: 9–19.

KAPFER, A. (2010): *Beitrag zur Geschichte des Grünlands Mitteleuropas – Darstellung im Kontext der landwirtschaftlichen Bodennutzungssysteme im Hinblick auf den Arten- und Biotopschutz*. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* 42 (5): 133–140.

LAMB, E.G., KENNEDY, N. & SICILIANO, S. D. (2011): *Effects of plant species richness and evenness on soil microbial community diversity and function*. – *Plant Soil* 338: 483–495; <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0560-6>.

MATZDORF, B., REUTTER, M. & HÜBNER, C. (2010): *Gutachten-Vorstudie Bewertung der Ökosystemdienstleistungen von HNV-Grünland (High Nature Value Grassland)*. – *Abschlussbericht, Institut für Sozioökonomie, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Münchenberg*: 67 S.; www.bfn.de/naturkapital-deutschland-teeb-de.

MEA (= MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005): *Ecosystem and human well-being: scenarios*. – Vol. 2, Island Press, Washington.

PLIENINGER, T., BIELING, C., GERDES, H., OHNESORGE, B., SCHAICH, H., SCHLEYER, C., TROMMLER, K. & WOLFF, F. (2010): *Ökosystemleistungen in Kulturlandschaften – Konzept und Anwendung am Beispiel der Biosphärenreservate Oberlausitz und Schwäbische Alb*. – *Natur und Landschaft* 85 (5): 187–192.

POEPLAU, C., DON, A., VESTERDAL, L., LEIFELD, J., VAN WESEMAEL, B., SCHUMACHER, J., GENSIOR, A. (2011): *Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach*. – *Global Change Biology* (17): 2415–2427.

SCHREIBER, K.-F., BRAUCKMANN, H.-J., BROLL, G., KREBS, S. & POSCHLOD, P. (2009): *Artenreiches Grünland in der Kulturlandschaft – 35 Jahre Offenhaltungsversuche Baden-Württemberg*. – *Naturschutz-Spectrum, Themen 97, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) Baden-Württemberg, Hrsg., Verlag Regionalkultur*: 420 S.

SORKAU, E., BOCH, S., BOEDDINGHAUS, R., BONKOWSKI, M., FISCHER, M., KANDELER, E., KLAUS, V., KLEINEBECKER, T., MARHAN, S., MÜLLER, J., PRATI, D., SCHÖNING, I., SCHRUMPF, M., WEINERT, J. & OELMANN, Y. (2018): *The role of soil chemical properties, land use and plant diversity for microbial phosphorus in forest and grassland soils*. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 181 (2): 185–197; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jpln.201700082>.

STURM, P., ZEHE, A., BAUMBACH, H., VON BRACKEL, W., VERBÜCHELN, G., STOCK, M. & ZIMMERMANN, F. (2018): *Grünlandtypen. Erkennen – Nutzen – Schützen*. – *Quelle und Meyer Verlag, Wiebelsheim*: 344 S.; www.anl.bayern.de/publikationen/weitere_publikationen/gruenlandtypen.html.

VON HAAREN, C., SAATHOFF, W., BODENSCHATZ, T. & LANGE, M. (2010): *Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität*. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 94, Bonn-Bad Godesberg: 181 S.

Ökosystemleistungen oder: Wiesen und Weiden als Multitalente

Versorgungsleistungen bezeichnen ökonomische Dienstleistungen und Güter, wie zum Beispiel Güter wie Sauerstoff, Wasser, Nahrung, Energie, medizinische und genetische Ressourcen, Materialien für Kleidung und Bauen, aber auch:

- Futterpflanzen für Haustiere, Heugewinnung, Futterfläche (Beweidung), darauf aufbauend Produkte wie Fleisch, Milch, Wolle, Leder
- sauberes Trinkwasser, Wasserreinigung und Speisung der Grundwasservorräte
- biochemische beziehungsweise pharmazeutische Stoffe, insbesondere über verschiedene (Heil-)Kräuter zur medizinischen Verwendung oder als Qualitätsmerkmal für gesunde Futtermittel
- genetische Ressourcen Saatgut, zum Beispiel für die zukünftige Weiterentwicklung von Nutzpflanzen, aber auch regional einzusetzende Heumulchsaat und so weiter

Basis- und Regulationsleistungen beinhalten ökologische Dienstleistungen und Güter, wie zum Beispiel biogeochemische Kreisläufe, Mineralisierung organischer Substanzen in Böden, Klimaregulation, Prozesse wie Energieumwandlung (aus Sonnenenergie wird Biomasse), Speicherung und Transfer von Mineralstoffen und Energie in Nahrungsketten. Hier ist das Zusammenspiel abiotischer und biotischer Faktoren nötig. Dazu gehören:

- Photosynthese-Leistung, Grünlandwirtschaft ist ursächlich, vor allem auch die Produktion von Sauerstoff (Beispiel: Das oberösterreichische Grünland liefert für 100 % der Österreicher Luft zum Leben, das heißt, für 8,8 Millionen Menschen – oder das 5,9-Fache dessen, was die Österreicher selbst zum Atmen brauchen)
- Stoffkreisläufe (Pflanzenvielfalt hat Effekte auf Stoffkreisläufe im Grünland)
- Klimaschutz: Lokale Mikroklimaregulationsleistung, beispielsweise über Kaltluftentstehung aufgrund nächtlicher Abkühlung, positive Wirkung auch für angrenzende Siedlungsräume! Kohlenstoffbindung durch unbrüchlos bewirtschaftetes Grünland, am stärksten durch extensives Weideland
- Wasser: Wasserrückhalt und Hochwasserschutz durch verzögerte Wasserabgabe an Oberflächengewässer, Wasserspeicherung in der Vegetation und im Boden, Wasserreinigung und Filtration, Binden von Nähr- und Schadstoffen
- Bodenschutz und Gewässerschutz: Erosionsschutz durch dauerhafte Festigung des Oberbodens (Wurzelhorizont)
- Bodenschutz: Intakte Bodenbildungsprozesse und Nährstoffkreisläufe, Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Regeneration der Bodenqualität durch Bodenleben
- Landwirtschaft und Naturschutz: Lebensraum für Arten und Lebensgemeinschaften von herausragender, teils europäischer Bedeutung; Sicherung von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Erträgen durch Nahrungsressourcen für Bestäuber; biologischer Pflanzenschutz durch Nützlinge; Biodiversität (aufgrund des enormen Artenspektrums und der Vielzahl unterschiedlicher Standorte spielt der Erhalt des Grünlands eine ganz wesentliche Rolle bei der Erreichung von nationalen, europäischen und internationalen Biodiversitätszielen)

Soziokulturelle Leistungen schaffen Möglichkeiten der Gesunderhaltung und Erholung, zur geistig-spirituellen Bereicherung, Erbauung und zu ästhetischem Genuss (psychologisch-soziale Ökosystemleistungen) und bieten Erkenntnisgewinn, Bildung und Inspiration (Informations-Ökosystemleistungen).

- Ästhetische Werte: Weidetiere in der Landschaft, blumenbunte Wiesen, Struktureichtum, offene Landschaft mit Sichtbeziehungen, Grundlage für naturbezogene Freizeitaktivitäten
- Bildung für nachhaltige Entwicklung: Grünland als Lehr- und Lernobjekt für die Arbeit von Umweltbildungseinrichtungen, Schulen, Hochschulen, Natur- und Landschaftsführern
- Identifikation: Identitätsstiftende Wirkung der Landschaft, Heimatgefühl, Zugehörigkeit
- Kulturerbe: Historische Kulturlandschaften, traditionelle Nutzungsformen, altes Wissen zu Kulturtechniken
- Inspiration: Geistig und künstlerisch, Anregung zu Malerei, Fotografie, als Bühne, Ort der Meditation
- Arbeitsplatz: Attraktive Beschäftigung in heilsamem Umfeld, gegebenenfalls höheres Arbeitsplatzangebot im Vergleich zu hochtechnisierten Agrarnutzungen

(HANSJÜRGENS et al. 2019; JEDICKE 2014; LAMB et al. 2011; PLIENINGER et al. 2010; SORKAU et al. 2018)

