

Grasland und die Potenziale nachhaltiger Beweidung für Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität, Klima und (Tier-)Gesundheit

Anita Idel

1 Dauergrünland – ein auch für die Menschheitsentwicklung entscheidendes Ökosystem

Der Zweck von Agrarpolitik, Agrarforschung und Agrarausbildung muss darauf ausgerichtet sein, in und mit der landwirtschaftlichen Praxis die Basisressourcen für die Welternährung – Bodenfruchtbarkeit, Gewässerqualität und biologische Vielfalt – *dauerhaft* zu sichern. Deshalb darf die Landwirtschaft nicht dazu instrumentalisiert werden, vorrangig die Atmosphäre von Klimagasen zu entlasten oder gar die von fossiler Energie getriebenen industriellen Emissionen via Landwirtschaft zu kompensieren. Jedoch ist der Zusammenhang zwischen Klima und Landwirtschaft und damit dem Potenzial nachhaltiger Bodennutzung evident: Jede zusätzliche Tonne Humus im Boden entlastet die Atmosphäre um 1,8 Tonnen CO₂.

Der Green Deal der EU-Kommission bietet mit der Farm-to-Fork- und der Biodiversitätsstrategie den Rahmen, diese Erfordernisse und Potenziale umzusetzen; denn der Fokus des Green Deal liegt explizit auf dem Klima- *und* Artenschutz. Deshalb müssen Lösungsstrategien den größten Landnutzer, die Landwirtschaft, zwingend einbeziehen: Die tatsächliche Umsetzung des Green Deals erfordert ebenso wie die dauerhafte Ernährungssicherung eine völlige Neuausrichtung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). Dazu muss der Ressourcenschutz vom Anhängsel zum Kern der landwirtschaftlichen Betriebseinkommen werden. Und vor allem bei dieser Aufgabe ist dem Dauergrünland besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Dauergrünland ist das weltweit größte Biom und die größte Dauer- und Mischkultur. Es bietet entscheidende Potenziale für die Förderung der Bodenfruchtbarkeit, der biologischen Vielfalt und der Klimaentlastung. Aber während sein Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) weltweit bei 70% liegt, verfügt die EU nur noch über gut 40% und Deutschland über weniger als 30%. Der Druck auf das verbliebene Dauergrünland, insbesondere durch häufiges Mähen, Nachsaat und vermehrte Gülleeinträge, bewirkt(e) zudem einen drastischen Rückgang seiner Qualität: Der Verlust an biologischer Vielfalt insbesondere in der Samenbank der Böden verringert damit auch dessen *kurzfristiges* Anpassungspotenzial – und damit *das* Alleinstellungsmerkmal dieser Pflanzengesellschaft; denn die Resilienz des Dauergrünlandes beruht wesentlich auf dessen Fähigkeit, flexibel *und* schnell zu reagieren (Saatkamp 2014). Damit verbunden nehmen Bodenbildung und Klimaentlastung sowie die Wasseraufnahme und -speicherung ab, sodass Ertragsrisiken insbesondere angesichts von Dürre- ebenso wie Starkregenereignissen zunehmen. Evident ist der Zusammenhang mit Regenwürmern: Deren Vorkommen und Vielfalt sinkt signifikant in Abhängigkeit vom Verlust der Pflanzenvielfalt (Dietrich et al. 2021).

Beweidung von Dauergrünland steht sowohl für Ursprung und Entwicklung der weltweit besonders fruchtbaren Ebenen – den sogenannten *Kornkammern* –, als auch des *nicht-ackerfähigen* Landes, welches zu steil, zu steinig, zu trocken oder zu nass für den Pflug ist.

Die enormen Potenziale nachhaltiger Beweidung sind somit ein zentraler Schlüssel für die Basisressourcen der Welternährung: biologische Vielfalt, Gewässerqualität, Bodenfruchtbarkeit und damit verbunden das Klima – hinzu kommt die (Tier-)Gesundheit. Trotz dieser umfassenden Bedeutung werden diese Potenziale in Wissenschaft, (medialer) Öffentlichkeit und Politik dramatisch unterschätzt oder übersehen, während Hochleistungszucht und Industrialisierung durch die *Externalisierung von Kosten* sowie die *Economies auf Scale* bevorteilt werden (Idel and Reichert 2013; McIntyre et al. 2009).

Bereits vor Millionen Jahren begann die Entwicklung des Ökosystems Weide: eine *Ko-Evolution* des Graslandes und der grasenden Tiere. Wegen des vergleichsweise geringen Wasserbedarfs der Gräser dominierte Dauergrasland in den niederschlagsarmen Glacialen und ist auch im aktuellen Interglacial das größte Biom, die größte Perma- und die größte Mischkultur (Pfadenhauer und Klötzli 2014).

Aber die *Wahrnehmbarkeit* der Potenziale des Dauergrünlandes und seiner Beweidung sinkt dramatisch (Idel 2018; 2020). Die Gründe liegen neben dem dramatischen Flächenrückgang in häufig nicht zielführender Forschung, zudem in der Benachteiligung durch die Förderpolitik und daraus resultierend im nicht angemessenen Management in der Praxis. Dadurch verschlechtert sich der Status quo des Dauergrünlandes, was sich insbesondere in Dürreperioden auswirkt. Hinzukommt, dass die Klimaforschung Wiederkäuer überwiegend auf Methanemissionen beschränkt, wodurch Rinder generell als Problem wahrgenommen werden und die Potenziale nachhaltiger Beweidung für die biologische Vielfalt und die Bodenfruchtbarkeit und in der Folge die Klimaentlastung ausgeklammert bleiben.

Hinzu kommt, dass sich die generelle Bodenverdichtung, welche durch Verdrängung der Beweidung durch die Mahd mit zu schwerem Gerät und zu hohen Achslasten der Güllefässer immer weiter ausbreitet wird (Stahl 2009, Poeplau and Don 2013, Diepolder et al. 2015, Sexlinger 2020). Damit verbunden ist ein weiteres gravierendes Problem: die zunehmende Tiefenverdichtung. Dadurch führen Starkregenereignisse nicht nur in Hanglagen, sondern auch bei gestautem Oberflächenwasser *nicht* zur notwendigen Regeneration des Grundwassers.

Über Jahrzehnte vernachlässigten die finanzielle Förderung und die Forschung das Dauergrünland im Vergleich zum Ackerland. Seit den 1970er Jahren beträgt der quantitative Rückgang des Dauergrünlandes mehr als ein Viertel (Möckel 2018) und die Intensivierung verschärfte auf den verbliebenen Flächen den Nutzungsdruck, so dass vielerorts auch seine aktuelle biologische Qualität abnahm.

In der Folge ist die Wahrnehmung des Dauergrünlandes weitgehend reduziert auf Intensivgrünland sowie marginales, nicht-ackerfähiges Land und dessen zwangsläufig geringen Erträge. Unbeachtet bleibt hingegen die Genese der fruchtbarsten Schwarzerdeböden weltweit: Ob Prärie (Hewins et al. 2018) oder Puszta oder Börden (Huyghe et al. 2014) – diese heutigen Kornkammern weisen eine *Steppengenese* auf: Ihre enorme Fruchtbarkeit resultiert aus ihrer Ko-Evolution mit Weidetieren (Wang et al. 2016).

Gräser entwickelten in ihrer Evolution zwei Besonderheiten. Anders als bei anderen Pflanzen befördert der Biss der Weidetiere die Photosyntheseleistung der Gräser. Zudem verfügen Gräser aufgrund ihres besonders hohen Anteils an Feinwurzeln über das größte Potenzial zur Bodenbildung (Bakker et al. 2013, Ford et al. 2016, Sobotik et al. 2020, Terrer et al. 2021). In der Folge bergen die Böden unter dem Grasland weltweit mehr Kohlenstoff als die

Waldböden. Unverzichtbar ist zudem der (unbelastete) Dung der Weidetiere¹ für Nahrungsketten: Die Fladen einer einzelnen Kuh bieten pro Jahr Futter für über 100 kg Insektenbiomasse – und damit das Überleben von Vögeln, Fledermäusen und den weiteren Tieren in der Nahrungskette (Young 2015, Buse 2020).

2 Die Agrarindustrie verdient vorrangig am Ackerbau

Grasland nimmt mehr als 30% der Landfläche des Planeten ein und ist somit trotz dramatischen Umbruchs immer noch das größte irdische Biom (Hewins et al. 2018, White et al. 2000; Wang und Fang 2009; Pfadenhauer und Klötzli 2014). Bezogen auf die weltweit landwirtschaftlich genutzte Fläche (LN) sind wie oben erwähnt 70% Grasland, aber die (Klima-)Forschung beschränkt sich überwiegend auf die anderen 30%, das Ackerland. In der EU nimmt das Dauergrünland noch circa 40% der LN ein: darunter die Schweiz mit 70, Irland mit 80, aber Deutschland mit nur 28% (Sousanna et al. 2007, Sousanna et al. 2010; Roser und Ritchie 2018, Deutscher Bundestag 2020).

Es gibt sehr unterschiedliche Gründe, die dazu beitragen, dass das gigantische Potenzial nachhaltiger Beweidung überwiegend verkannt bzw. ignoriert wird. Die Bewirtschaftung von Dauergrasland spielt trotz seines weltweit enormen Umfangs in der Ausrichtung der Agrarforschung und -politik kaum eine Rolle. In der Folge bleiben die speziellen Wachstumsdynamiken des Dauergrünlandes und die darauf basierenden Potenziale nachhaltiger Beweidung für die Artenvielfalt und die Bodenfruchtbarkeit – und damit verbunden das Weltklima – sowie den Wasserhaushalt weitgehend unerkannt und ungenutzt.

Ein wesentlicher Grund für das Desinteresse liegt darin, dass die Agrarindustrie an gesunden Rindern, die auf Resilienz gezüchtet werden und auf artenreichem Grünland ausreichend Nahrung finden, nicht verdient bzw. nicht verdienen kann. Entsprechend gering fließen Drittmittel. Hingegen profitiert die Agrarindustrie vom nicht artgemäßen Kalorienbedarf und fördert Forschung zu Rindern, die einseitig auf Hochleistung selektiert sind und weiterhin werden. Entsprechend konzentriert sich ihr Interesse auch bei *tierischen* Produkten wegen des dazu notwendigen Anbaus von Kraftfutter auf den Ackerbau. In der Folge nehmen der ökologische und der Klima-Fußabdruck der Tierproduktion mit der weltweiten Expansion der Milch- und Fleischkonzerne dramatisch zu (GRAIN und IATP 2018). Zulieferer sind insbesondere die chemische Industrie mit Saatgut, Mineral- und chemisch-synthetischem Stickstoffdünger, Pestiziden, Desinfektionsmitteln, Futtermitteln, Antibiotika, Antiparasitika und Hormonen sowie die Landmaschinenindustrie, die Stalleinrichtungsfirmen und die Tierzuchtunternehmen. Unter den Abnehmern dominieren im tierischen Bereich neben den Transportunternehmen Molkerei-, Schlacht- und Lebensmittelkonzerne.

3 Zur Ko-Evolution von Grasland und Weidetieren

3.1 Die Steppengenese der Kornkammern

Die Nicht-Wahrnehmung von Potenzialen gründet auch in der mangelnden Berücksichtigung der (Forschungs-)Frage, wie Bodenfruchtbarkeit entstand, *bevor* sich Menschen sesshaft machten und zu gärtnern und zu ackern begannen. Der Schlüssel liegt in nachhaltiger

¹ Das bedeutet: ohne prophylaktische Parasitenbehandlung (Buse 2020).

Beweidung. Den entscheidenden Hinweis dazu bietet die Genese der weltweit fruchtbarsten Schwarzerdeböden (Tschernoseme). Seit Jahrzehnten – und teilweise bereits im 19. Jahrhundert beginnend – produzieren dort Äcker mit Getreide, Mais und Soja in riesigen Monokulturen extreme Ernten. Deshalb gelten diese Regionen als Kornkammern oder *breadbaskets*. Dazu zählen insbesondere Tschernoseme in Nordamerika (Prärien), in der Ukraine, in Ungarn (Puszta), in Rumänien (Bărăgan) sowie in Kasachstan, der Mongolei und der Mandschurei in China. In Deutschland liegen vergleichbare Schwarzerdeböden in den deutschen Tieflandsbuchten – den bis zu 100-Punkte-Böden der Börden um Magdeburg und Hildesheim und bis in die Kölner Bucht – sowie z.B. in der hessischen Wetterau. Hinzu kommen die Tschernoseme der subtropischen Pampas in Argentinien und in Uruguay.

Das Gemeinsame dieser Gunstlagen liegt in ihrer Genese als Steppenböden. Sie alle sind durch jahrtausendelange Beweidung entstanden. Ihre hohen, einst unbelebten Lössanteile boten eine günstige Voraussetzung für Bodenfruchtbarkeit. Aber belebt wurden sie, wie alle Böden, durch den Bewuchs und das heißt: *von oben* durch die Nutzung der Weidetiere. Deren Biss regt das Wachstum der oberirdischen Pflanzenmasse an, verstärkt damit die Photosyntheseleistung und fördert so auch das unterirdische Wachstum: die Graswurzeln.² Vor allem aus dieser Wurzelbiomasse generieren vorrangig Mikroorganismen und Regenwürmer organische Bodenbiomasse (Sobotik et al. 2020). Unterstützt werden sie auch durch wühlende Kleinsäuger (vgl. Prairie dogs o.J.). Auch deshalb kommt es bei der Bodenbildung *nicht* zu der häufig vermuteten *Sättigungsgrenze*. So konnten zum Beispiel im Mittleren Westen Nordamerikas bis zu sechs Meter und in der Ukraine bis zu drei Meter dicke Humusschichten entstehen (Canadell et al. 2007; Fileccia et al. 2014, Hewins et al. 2018).

3.2 Gräser brauchen den Biss

Bei Gräsern löst die Beweidung einen *Wachstumsimpuls* aus, hingegen bewirkt der sogenannte *Verbiss* bei Baumschösslingen eine *Wachstumsdepression*. Die Gründe für diese völlig entgegengesetzten Effekte der Beweidung liegen im fundamentalen Unterschied in der Wachstumsdynamik von Gräsern und anderen Pflanzen – eine Folge der Ko-Evolution: Gräser haben sich so sehr an die Weidetiere angepasst, dass nachhaltige Beweidung sie bevorteilt. Sie wachsen aus ihrer Basis und somit von unten aus dem Boden heraus nach und können auf den Biss mit vermehrter Photosyntheseleistung reagieren. Ihre Anpassung hat sie letztlich abhängig von der Beweidung gemacht: Kein Dauergrünland bleibt erhalten, wenn es *dauerhaft* ungenutzt bleibt. Gleichzeitig entwickelte ein Teil der Tiere seit der Zeit, als Gräser begannen, Böden flächig zu bedecken, hochkronige Backenzähne, sodass ihr Gebiss dem Abrieb beim Malmen länger standhält (Ungar 2015, Melo et al. 2019).

Durch den Ausschluss von Weidetieren verbuscht oder verwaldet die Vegetation – je nach Verfügbarkeit von Wasser (Peyraud et al. 2014). Andere Pflanzen – wie Bäume – wachsen hingegen aus dem oberirdischen Spross heraus. Da junge (Baum-)Schösslinge anfangs nur über einen einzigen Spross verfügen, bedeutet es ihr Ende, wenn dieser abgefressen wird. Viele Pflanzen wehren sich deshalb mit erheblichem energetischen Aufwand gegen den Verbiss durch pflanzenfressende Tiere: Sie bilden Bitterstoffe, Toxine oder Stacheln. Gräser

² Über Millionen Jahre löste allein Beweidung den Wachstumsimpuls aus. Die Routine, mit Sensen zu mähen, entstand in Europa erst im Verlauf des Mittelalters.

wehren sich erst, wenn zu häufige bzw. zu tiefe Beweidung ihre Regeneration gefährdet und Stress auslöst (Vanselow 2010).

So wie das Dauergrasland seine enorme Verbreitung seiner biologischen Vielfalt verdankt, entstand kein Grasland in Ko-Evolution mit nur einer Tierart; dabei zähl(t)en die meisten Weidetiere zu den Wiederkäuern – ergänzt durch Pferdeartige. So wie noch heute in der Serengeti oder Massai-Mara das wiederkäuende Gnu dominierte innerhalb der Wiederkäuer jeweils eine Art: Die 40 bis 60 Millionen Bisons Nordamerikas wurden erst im 19. Jahrhundert fast bis zur völligen Ausrottung dezimiert; deshalb ist der Bison noch im kollektiven Gedächtnis verankert – perpetuiert durch das Kino-Genre Western. Zu der Zeit lag die tatsächliche Ausrottung des Auerochsen, der den eurasischen Doppelkontinent vom äußersten Westen bis zum äußersten Osten beweidete, schon Jahrhunderte zurück (van Vuure 2002). Wie auf allen Kontinenten prägten somit auch in Europa wandernde Weidetiere in der noch zaunlosen nacheiszeitlichen Welt Böden und Landschaften (Vera 2002, Bunzel-Drücke et al. 1999). Erst die Veröffentlichung von Jaubert (Jaubert et al. 2016) über Neandertaler in der französischen Bruniquel-Höhle vor circa 176 000 Jahren belegte, warum gerade in Höhlenregionen so wenig direkte Nachweise – zum Beispiel Skelette – gefunden werden: Knochen(fette) verursachen bei der Verbrennung weit weniger Rauch und Ruß als Holz und konnten somit in Höhlen als dauerhafte Lichtquelle dienen. Auch die fast völlige Verdrängung der Guanakos von den Pampas Südamerikas ist weitgehend vergessen, obwohl dort zur Zeit der Kolonisierung circa 40 Millionen Tiere von dieser Wildform der Lamas weideten (Cebra et al. 2010).

3.3 Mangel an Daten

Der weltweit enormen Verbreitung und Vielfalt von Dauergrünland steht ein erheblicher Mangel an Daten gegenüber (Rumpel et al. 2015, Baily et al. 2019, Cavicchioli et al. 2019, Terrer et al. 2021). Das wurde auch 2014 in einem Bericht für die FAO festgestellt (Velthof et al. 2014). Trotz seines wichtigen Beitrages zur Bodenfruchtbarkeit und zum Humusaufbau fand Dauergrünland auch auf Veranstaltungen des für das Jahr 2015 proklamierten *UN-Jahres der Böden* kaum Beachtung. Der Fokus lag auf dem Ackerboden. Das gilt auch für die vom *Global Soil Forum* seit 2012 bereits sechsmal veranstaltete *Global Soil Week* (GSW 2019).

Insbesondere im Forstbereich gilt Wald immer noch als die *natürliche* bzw. *ursprüngliche* Vegetation Mitteleuropas. Aber zunehmend wächst das Verständnis für die Dynamiken von Ökosystemen. Dazu trägt wesentlich die Klimakrise bei: Denn durch den Abgleich der Erfahrungen infolge bereits eingetretener Entwicklungen mit den immer komplexeren Klimamodellen, werden auch Widersprüche offenkundig (Covey et al. 2019, Terrer et al. 2021, Bastos and Fleischer 2021). So schärfen wissenschaftliche Studien den Blick sowohl für die generellen Unterschiede beim Wachstum von Bäumen und Gräsern, als auch z.B. für das Miteinander von Bäumen und Gräsern in der Serengeti und anderen Savannen im südlichen Afrika. In Europa mangelt es vielfach an der Datengrundlage und zudem an der transdisziplinären Rezeption und Auswertung der bereits vorhandenen Daten.

Mit dem Beginn von Eiszeiten verlieren Bäume durch die abnehmende Wasserverfügbarkeit sukzessive ihren Lebensraum. Überleben konnten sie in Nischen, die Tiefwurzeln unvereistes Grundwasser boten. Abseits der Gletscher bewuchsen vor allem Gräser das Land, wo es nicht von Fels oder Sand bedeckt war (Pfadenhauer und Klötzli 2014). Entsprechend verbessern sich die Lebensbedingungen für Bäume sukzessive, wenn Eiszeiten zu Ende gehen. Das gilt

auch für die letzte Eiszeit. Ein wichtiger Baustein für das Verständnis der Entwicklung liegt darin, dass in der noch zaunlosen Welt (wandernde) Weidetiere in den meisten Regionen zu den natürlichen Mitbewohnern zählten. Anfangs wirkte noch die mangelnde Feuchtigkeit als der begrenzende Faktor für die Ausbreitung von Bäumen und Wäldern. Als dann mit zunehmender Gletscherschmelze wieder ausreichend Niederschlag für Baumwachstum verfügbar wurde, bestimmte vor allem die Zahl und Art der Weidetiere die weitere Entwicklung.

Begriffe wie *parkähnliche Weidelandschaften* (Bunzel-Drucke et al. 1999) sowie *Lichtwald* (Rupp, 2013, Jotz et al. 2017) beschreiben bildhaft die nacheiszeitlichen Zustände. Somit konnten Sonnenstrahlen auch den Waldboden direkt erreichen – Voraussetzung für das Wachstum der Gräser, so wie auch heute noch im zeitigen Frühjahr im noch unbelaubten Mischwald. Verstärkter Jagddruck führte zu Störungen, sodass sich die wandernden Weidetiere immer weiter in den Nordosten Europas zurückzogen. In der Folge konnten sich Wälder ausbreiten, zumal noch kein Werkzeug zu ihrer Begrenzung verfügbar war. Mit zunehmender Bevölkerungsdichte weitete sich die lokale Ausrottung von Auerochsen und Wisenten immer weiter aus. Deshalb waren in unseren Breiten bereits vor 2000 Jahren, zur Zeit der Römer, Zahl und Größe der Herden mit Auerochsen oder Wisenten erheblich dezimiert. Im Vergleich zur mediterranen Vegetation bzw. den zuvor parkähnlichen Weidelandschaften, in denen die Tiere kleine und große Lichtungen oder Ebenen dauerhaft *offenhielten*, wie wir es heute nennen, galt Germanien damals bereits als Waldland. Aber die Wälder waren weitaus lichter und nicht vergleichbar mit heutigen Forsten. Sie weiteten sich über Jahrhunderte aus und dominierten letztlich die Bodenbedeckung. Dann verringerte sich ihre Verbreitung bis zum Ende des 14. Jahrhunderts auf ein Drittel der Landfläche; denn die Holznutzung nahm immer mehr zu: für den Städte- und Schiffsbau sowie die Energie für Bergbau, Schmieden, Bäckereien und die Wärmenutzung. Hinzu kam der Platzbedarf für den Ackerbau.

3.4 Mehr Kohlenstoff in Grünland- als in Wald-Ökosystemen

Das Verhältnis von oberirdischer Pflanzenmasse zur Wurzelmasse – das Spross-Wurzelverhältnis – fällt bei Graspflanzen stark zugunsten der Wurzelmasse aus (Mueller et al. 2013, Poeplau 2016, Sobotik et al. 2020). Wie der oberirdische Zuwachs stammt auch der unterirdische aus dem Kohlenstoffanteil des atmosphärischen CO₂. Das gilt folglich auch für den Humus. Jede zusätzliche Tonne Humus im Boden entlastet die Atmosphäre um 1,8 Tonnen CO₂. Im Dauergrünland entsteht die organische Bodensubstanz überwiegend aus der verrottenden Wurzelmasse und den Wurzelausscheidungen sowie Kleinstlebewesen durch die Arbeit der (Mikro-) Organismen. Für das Dauergrünland gilt deshalb griffig zusammengefasst: „Die Wurzeln von heute sind der Humus von morgen“ (Idel 2010; 2013; 2018). Eine wesentliche Rolle kommt damit verbunden den Bodenwühlern wie z.B. Murmeltieren, Maulwürfen, Viscachas und Präriehunden zu. Sie arbeiten den Humus tiefgründig ein (*Bioturbation*) und wirken damit einer C-Sättigung in den oberen Bodenschichten entgegen.

Das Wurzel-Spross-Verhältnis der Gräser beträgt 2-20 : 1 und das der Bäume überwiegend 1 : 2. Dennoch liegt die gesamte unterirdische *pflanzliche* Biomasse der Wälder weit über der des Graslandes. Dass Grasland trotzdem über ein weit höheres Bodenbildungspotenzial verfügt, liegt somit nicht an der schieren Masse ihrer Wurzeln, sondern an deren Qualität:

Bäume verfügen über ein sogenanntes extensives Wurzelsystem, Gräser überwiegend über die besonders zur Bodenbildung geeigneten Feinwurzeln (Bakker et al. 2013, Ford et al. 2016, Sobotik et al. 2020). Darin liegt der Grund für die weitgehend unbekannte bzw. ignorierte Tatsache, wonach die weltweiten Graslandökosysteme mehr Kohlenstoff speichern als die weltweiten Waldökosysteme (Conant 2010).

Anfang 2021 erschien eine Meta-Studie von Terror et al. (2021), in der die dem Mainstream der Klima-Modelle zugrundeliegende Setzung, der Wald verfüge über die größte biologische Effizienz zur Kohlenstoffspeicherung – auch im Boden, erstmals grundsätzlich problematisiert wurde. Bezüglich unerwarteter Forschungsergebnisse resumierten sie: „Die Mechanismen hinter diesen Variationen entlang der Experimente bleiben nur mangelhaft verstanden und verursachen Unsicherheit bei den Klima-Projektionen“⁴ (ebd.: S. 599). Im Rahmen ihrer Studie werteten sie 108 Experimente aus und kamen zu dem Ergebnis, dass die verwendeten Modelle *nicht* die Realität abbilden. Damit stellen sie die dieser Setzung zugrundeliegende Unterstellung in Frage, wonach eine Pflanze umso mehr zur Kohlenstoffspeicherung *im Boden* beiträgt, je mehr Biomasse sie insgesamt bildet. Dementgegen konstatierten Terror et al. (2021) bei zunehmendem CO₂-Partialdruck beim Wald sogar ein Trade-off zwischen Biomasse- und Bodenbildung und heben stattdessen die Bedeutung und Potenziale des Dauergraslandes mit seinen Fein-Wurzeln hervor: „Der organische Kohlenstoff nimmt bei erhöhten CO₂-Werten überall im Grasland zu (8 ± 2 Prozent), nicht aber im Wald (0 ± 2 Prozent).“ Da die meisten terrestrischen Ökosystemmodelle auf diesem Biomasse-Dogma basieren, bilden sie diesen realen Abtausch nicht ab. Entsprechend lautet die Schlussfolgerung von Terror et al. (2021): „Das impliziert, dass Projektionen zum organischen Boden-Kohlenstoff eine Revidierung erfordern.“ (ebd.: S. 599) (Übersetzungen Anita Idel); siehe dazu auch Bastos & Fleischer (2021).

Kommentiert [A11]: The mechanisms that drive this variation across experiments remain poorly understood, creating uncertainty in climate projections. P 599

Während Bäume den Kohlenstoff überwiegend im oberirdischen Holz anreichern, speichern die Böden unter dem Grasland weltweit 50% mehr Kohlenstoff als Waldböden (Conant 2010).³ Die Nutzung der weltweiten Kornkammern zehrt von diesem Effekt. Aber der Umbruch des Dauergrünlandes zu Ackerflächen vermindert den Kohlenstoffgehalt dieser Gunstlagen drastisch (Poepflau et al. 2011, Conant et al. 2017). So verursachten Landnutzungsänderungen und die anschließende Ackernutzung zwischen 1850 und 2000 in den Steppenböden der Prärien Nordamerikas erosionsbedingte Humusverluste von 25 bis 30%. Pro Hektar werden die Verluste auf ca. 13 Tonnen pro Jahr geschätzt (Pimentel et al. 1997). Für die fruchtbarsten Steppenböden Europas in der Ukraine veröffentlichten im Jahr 2014 Weltbank und FAO ähnlich drastische Ergebnisse: Bodenverluste in Höhe von 15 Tonnen pro Hektar und Jahr (Fileccia et al. 2014). In Mitteleuropa beträgt pro Hektar das Gewicht von einem Millimeter Oberboden bei mittelschweren Böden ca. 12 bis 13 Tonnen.

Kommentiert [A12]: We found that overall, SOC stocks increase with eCO₂ in grasslands (8 ± 2 per cent) but not in forests (0 ± 2 per cent), even though plant biomass in grasslands increase less (9 ± 3 per cent) than in forests (23 ± 2 per cent). (...) Ecosystem models do not reproduce this trade-off, which implies that projections of SOC may need to be revised. P 599

3.5 Gräser / Dauergrasland und Bäume / Wald im Vergleich

Im gemäßigten Klima Europas zählt die Vegetationsperiode von Gräsern zu den längsten; das wird insbesondere im Vergleich zu Bäumen deutlich: Bereits ab fünf Grad Celsius in den obersten Zentimetern des Bodens ist Wachstum der Grasbiomasse durch Photosynthese

³ Zwar stellen nicht die Wurzeln, sondern die Böden das Hauptspeicherorgan der Gräser dar. Das heißt aber nicht (!), dass überall unter jedem Hektar Grasland mehr Kohlenstoff gespeichert ist / wird, als unter einem Hektar Wald.

möglich. Die Vegetationsperiode bei Laubbäumen ist wesentlich kürzer: Sie beginnt mit dem Wachsen der Blätter im Frühjahr und ab dem Hochsommer sinkt die Aktivität mit der Verfärbung der Blätter.

Tabelle 1 fasst diese Aussagen nochmals zusammen.

Tabelle 1: Vorteilhafte Eigenschaften der Gräser / des Dauergrünlandes und der Gräser

<p>Dauergrünland</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ist das größte Biom – das großräumigste Ökosystem; ▪ ist die größte Permakultur – die Pflanzengemeinschaft mit mehrjährigem Bewuchs mit der größten Ausdehnung; ▪ ist die größte Mischkultur – die am weitesten verbreitete <i>Pflanzengesellschaft</i>; ▪ ist überwiegend in Ko-Evolution mit Weidetieren entstanden; ▪ ist überwiegend – in Folge der Ko-Evolution – von der Beweidung/ggf. Mahd abhängig: „Grasland braucht den Biss“; ▪ hat aufgrund des hohen Anteils an Feinwurzeln an seiner Wurzelmasse ein besonders großes Potenzial zum Humusaufbau und damit verbunden eine besonders große Wasserspeicherkapazität und ein großes Potenzial, Wassererosion zu verringern.
<p>Gräser</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ haben im Vergleich mit anderen Pflanzen eine lange Vegetationsperiode; ▪ bilden im Vergleich zu anderen Pflanzen mehr Wurzelmasse im Verhältnis zum oberirdischen Spross; ▪ verfügen über einen hohen Feinwurzelgehalt pro Einheit Bodenvolumen und sind deshalb effizienter in der Wasser- und Nährstoffaufnahme als Bäume, die über ein sogenanntes extensives Wurzelsystem verfügen; ▪ bewachsen den Boden natürlicher Weise flächendeckend und hemmen dadurch Erosion; ▪ wachsen von unten und nicht aus der (Spross-)Spitze; ▪ können überall dort leben, wo Bäume leben können – und zudem darüber hinaus; ▪ werden durch Nutzung (Beweidung oder Mahd) zum Wachstum angeregt.

4 Zu enge Systemgrenzen und Blickwinkel (aus Ackerbau und Forstperspektive) legen falsche Schlussfolgerungen nahe

Einige allgemeine Aspekte der Nutzung von Dauergrünland vorab: Der Grünlandanteil der Landnutzung befindet sich überwiegend auf weniger produktiven Böden als der Ackerbau. Das müsste generell bei vergleichenden Untersuchungen zum Status quo des gespeicherten Kohlenstoffs berücksichtigt werden.

Eine wesentliche Benachteiligung des Dauergrünlandes liegt im Management: Grünlandstandorte werden häufiger befahren und mit zunehmend höheren Achslasten der Schlepper und Güllefässer und insbesondere zu (Jahres-)Zeiten, in denen Ackerböden wegen der möglichen Verdichtung geschont werden. Deshalb weist das Dauergrünland meistens eine (noch) höhere Bodenverdichtung auf als das Ackerland. Damit verbunden sind Sauerstoffmangel und eine gehemmte Wurzelentwicklung (Stahl 2009, Diepolder et al. 2015, Sexlinger 2020). Über die Bodenverdichtung hinaus wirken weitere Einflüsse reduzierend auf das Bodenleben. Beispielhaft und dramatisch wahrnehmbar ist der Schwund der Regenwürmer, die unter mechanischen (z.B. Pflug, Kreiselmäher) und chemisch-toxischen (z.B. Glyphosat) Auswirkungen leiden (vgl. Takeshi and Kazuyoshi 2011).

Angaben zur Produktivität müssen generell darauf überprüft werden, ob die Erntemengen *auf Dauer* oder nur temporär – auf Kosten der Ressourcen – erbracht werden können.

4.1 Irreführende Blickwinkel

Eine weitere generelle Problematik liegt darin, dass vom Ackerbau oder vom Forst ausgehende begrenzte Blickwinkel die Potenziale des Dauergrünlandes unterschätzen. Es ist wissenschaftlich nicht angemessen, aus Erfahrungen mit dem temporären Ackerbau einerseits und mit der Dauerkultur Wald in der Forstwirtschaft andererseits auf die Wachstumsdynamiken der Dauerkultur Grasland zu schließen.

Das betrifft insbesondere die Vorstellung von einer *Sättigungsgrenze*. Bäume erreichen einen Reifungsgrad, mit dem ihr ober- und unterirdisches Wachstum letztlich zum Stillstand kommt. Gräser hingegen erfahren infolge der Ko-Evolution bei nachhaltiger Nutzung eine permanente Regeneration. Im Ackerbau wird die Erfahrung gemacht, dass infolge verbesserter Maßnahmen die Bodenfruchtbarkeit umso schneller zunimmt, je schlechter die Ausgangssituation war. Aber die Schlussfolgerung, wonach das Potenzial für weiteren Zuwachs mit zunehmender Fruchtbarkeit erschöpft sei, trifft nicht zu. Das belegen über Jahrtausende die Steppengenesen der weltweiten Kornkammern.

Ebenfalls irreführend ist die häufige Gleichsetzung von Dauergrünland und Mooren. Moore sind gigantische Kohlenstoffspeicher. Durch Entwässerung emittieren sie Kohlenstoff und wirken als erhebliche Kohlenstoffquellen. Ihre Wiedervernässung – dauerhaft auf ein Niveau nicht unterhalb von minus 20 cm Wasserstand – dient somit der notwendigen Schadensbegrenzung. Hingegen ist ihr Potenzial zur Sequestrierung von Kohlenstoff extrem gering: Die Torfschicht naturnaher Moore „wächst in unseren Breiten durchschnittlich um einen Millimeter pro Jahr. Es dauert also rund 100 Jahre, um eine Torfschicht von 10 Zentimetern aufzubauen“ (UBA 2020, o. S.). Gleichzeitig emittieren naturnahe Moore geringe Mengen an Methan (CH₄). Gelangt durch Senkung des Wasserstandes Luft in den Moorkörper, können Bakterien und andere Bodenbewohner das pflanzliche Material abbauen (Mineralisierung). „Große Mengen Kohlenstoff werden dann in die Atmosphäre freigesetzt. Außerdem wird Lachgas (N₂O) emittiert.“ Deshalb tragen entwässerte Moore „erheblich zum Klimawandel bei“ (ebd.: o. S.).

Dementgegen steht Dauergrünland am entgegengesetzten Ende der Skala: Durch seinen großen Anteil an Feinwurzeln verfügt es über ein sehr großes Potenzial als Kohlenstoffs Senke (Sobotik et al. 2020).

Fehlschlüsse, die sich insbesondere negativ auf die Wahrnehmung der Potenziale des Dauergrünlandes auswirken, sind auch unter renommierten Bodenexperten verbreitet. Ein Beispiel ist Pete Smith, Professor für Böden und Globalen Wandel an der Universität von Aberdeen. Er leitet das Schottische Expertenzentrum für Klimawandel und war mehrfach Autor von Berichten für den Weltklimarat IPCC. Im ansonsten lesenswerten Buch über US-amerikanische Bauern im Kampf gegen die Klimakrise (Landzettel 2020) formuliert er im Interview mit der Autorin: „In den Tropen, also diesseits und jenseits des Äquators, findet man wenig Kohlenstoff im Boden. Je weiter man sich nach Norden oder Süden vom Äquator entfernt, desto mehr Kohlenstoff können die Böden speichern.“ (ebd.: S. 35) Tatsächlich gibt es in den Tropen Böden, die fast überhaupt keinen Kohlenstoff speichern – können: Denn die

Böden unter dem Regenwald sind fast permanenter Ausspülung ausgesetzt. Aber diese Sichtweise klammert die Kornkammern – und damit die Steppengeneese der fruchtbaren Schwarzerdeböden auf der Nord- und Südhalbkugel – aus.

4.2 Zur häufigen Beschränkung auf Emissionen (statt Bilanz aus Emissionen und Sequestrierung)

Fatal wirkt sich für die Wahrnehmung und Meinungsbildung aus, dass der für die Industrie entwickelte *ökologische Fußabdruck*, der in der Regel auf Emissionen beschränkt ist, im Rahmen der Umwelt- und Klimapolitik auch auf die Landwirtschaft übertragen wurde und wird. So blendet die Beschränkung auf Emissionen aus, dass Böden C- Speicher sind und in Abhängigkeit von der Nutzungsweise entweder zur C-Quelle werden oder als C-Senke wirken können. Letzteres gilt vorrangig für Dauergrünland. Entscheidend ist somit jeweils, durch gutes Management die Bilanz aus Boden abbauenden und Boden aufbauenden Prozessen jeweils zugunsten der letzteren zu verschieben (Baily et al. 219).

4.3 Zur mangelhaften Erhebung bzw. Zuordnung von Daten

Aber auch unabhängig davon legen Forschungsergebnisse zum Klima- und Ressourcenschutz häufig Schlussfolgerungen nahe, die sich kontraproduktiv auswirken. Das ist in der Regel nicht Folge von Rechenfehlern oder gar Fälschungen, sondern von mangelhafter Erhebung bzw. Zuordnung von Daten sowie – zeitlich und räumlich – zu engen Systemgrenzen. So wird der größte Beitrag der Landwirtschaft zur Klimakrise ausgeklammert, denn die Landnutzungsänderungen – die Rodung von (Regen-)Wald und der Umbruch von Dauergrünland – werden separat den LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*) zugeordnet und nicht der Landwirtschaft angerechnet (Hargita et al. 2016). Darüber hinaus geht aus der „Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor“ (Flessa et al. 2012) explizit hervor, welche weiteren Emissionsdaten bei der Erhebung für den jeweiligen nationalen „Ist-Stand der Treibhausgas- und Ammoniakemissionen“ – und somit auch in Deutschland – routinemäßig *nicht* berücksichtigt bzw. *nicht* der Landwirtschaft zugerechnet werden. Dazu zählen im vorgelagerten Bereich die beiden zentralen das Klima belastenden Einflüsse: die Futtermittelimporte und die Bereitstellung von chemisch-synthetischem Stickstoffdünger (Zhou 2019, Sutton et al. 2011) – hinzu kommt außerdem der landwirtschaftliche Energieeinsatz.

4.4 Zur Nichtberücksichtigung des Dauergrünlandes in der Bodenforschung

Trotz des erheblichen Umbruchs nehmen Grünlandflächen mit knapp 30% auch in Deutschland einen immer noch bedeutenden Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein. Aber in Erhebungen und Projekten zur Bodenforschung und speziell zur Bodenfruchtbarkeit werden sie überwiegend nicht berücksichtigt.

Das gilt zum Beispiel auch für die Studie „Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft“, deren Ergebnisse 2019 als „Thünen Report 65“ herausgegeben wurden (Sanders und Heß 2019): Demnach wurden Grünlandflächen „bei der Literatursuche (...) ausgeschlossen, (...)“, weil sich Ackerbausysteme und Grünlandflächen in ihrer Ökologie und in der Art der Bewirtschaftung erheblich voneinander unterscheiden.“ (ebd.: S. 17). Damit

blieb eine weitere Chance ungenutzt, eben diese Unterschiede herauszuarbeiten und damit die Wahrnehmung für die speziellen Erfordernisse des Managements im Dauergrünland zu schärfen.

Ein weiteres Beispiel bietet eine von *Soil & More* für *Greenpeace Deutschland* durchgeführte Studie (Bandel et al. 2020). *Soil & More* nutzten dazu nach eigener Angabe in der Forschung verbreitete Tools. Ihr Resümee lautet: „Ökologisch erzeugtes Rindfleisch verursacht wegen langsamen Wachstums und der dadurch anteilig höheren Methanemissionen je kg auch etwas höhere externe Kosten als Rindfleisch aus intensiver Tierhaltung.“ (ebd.: S. 7) An anderer Stelle wird aber explizit benannt, dass die Ökosystemdienstleistungen des Dauergrünlandes – beginnend bei biologischer Vielfalt und Bodenaufbau über den Klimaschutz bis zum Wasserhaushalt – nicht einbezogen wurden: „Bei den flächenbezogenen Monetarisierungsfaktoren werden ausschließlich die ackerbaulichen Flächen berücksichtigt.“ „Grünland für die Weidehaltung und Futtergewinnung wird nicht einbezogen.“ (ebd.: S. 11)

Solch ein Vorgehen ist auch in der Klimaforschung keine Ausnahme. So galt die Studie „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme“ als erster *umfassender* Vergleich der Klimawirkungen von konventionellen und ökologischen Betrieben in Deutschland. Aber auch dabei wurden die Effekte des Dauergrünlandes ausgeklammert und somit allein die Ackerböden berücksichtigt (Hülsbergen und Rahmann 2015).

4.5 Zur problematischen Berücksichtigung des Dauergrünlandes in der Bodenforschung

Aber nicht nur das den Erfordernissen nachhaltiger Landnutzung nicht angemessene Ausklammern von Grünland in der Bodenforschung führt zu problematischen Schlussfolgerungen. Denn eine weitere massive Beeinträchtigung für die Wahrnehmung seines Potenzials erfolgt auch gerade dann, wenn Dauergrünland in Berechnungen einbezogen wird. So führt zwangsläufig zu einer Unterschätzung des Dauergrünlandes, dass dort die Messungen des Kohlenstoffs routinemäßig auf den Bereich von 0 bis 10 cm Bodentiefe beschränkt werden (Bohner et al. 2016). Messungen in tieferen Bodenschichten sind die Ausnahme (Stahl 2009).

Insbesondere Gräser verfügen über das Potenzial, auf Trockenstress mit einer teilweisen Verlagerung ihrer Wurzelmasse in tiefere Bodenschichten zu reagieren (Herndl et al. 2011). Entsprechend findet dann in den oberen Bodenschichten eine Abreicherung statt. Gegenteilig reagieren Böden auf moderne Ackerbausysteme, wo eine Anreicherung oberer Bodenschichten auf Kosten der tieferen erfolgt (Luo et al. 2010). Deshalb fallen Vergleiche, die die jeweils tatsächliche Wurzeltiefe im Ackerbau nicht berücksichtigen, zwangsläufig zu Ungunsten des Dauergrünlandes aus und führen hinsichtlich seines Potenzials zu falschen Schlussfolgerungen.

Vor diesem Hintergrund kommt dem Thünen-Report 64 (Jacobs et al. (2018) spezielle Bedeutung zu: Er dokumentiert die Ergebnisse der ersten Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) in Deutschland – differenziert nach mineralischen und organischen Böden (Mooren). Die Autor:innen konstatieren, dass die Unterböden von 30-100 cm Bodentiefe maßgeblich zum gespeicherten organischen Kohlenstoff beitragen. Auch im Arbeitspapier 136 des Thünen Instituts (Isermeyer et al. 2019) Acker- und Grünlandböden vergleichend einbezogen. Grundlage der Messungen bietet die Gesetzmäßigkeit, wonach der Kohlenstoffanteil der abgestorbenen organischen Substanz im

Boden (Humus) immer rund 58% beträgt: „In Deutschland weisen die meisten **Ackerböden** in den Oberböden (0 bis 10 cm) einen Humusgehalt **zwischen 2 und 4 Prozent** auf (...). Der Humusgehalt unter **Grünland** liegt zumeist **zwischen 4 und 8 Prozent** (...). In den tieferen Bodenschichten sind die Unterschiede zwischen Acker- und Grünland weniger ausgeprägt, aber immer noch signifikant.“ (ebd.: S. 53) Dennoch benachteiligt auch diese Studie die Dauerkultur Grünland, denn sie verwendet im Text nur „einheitlich die Zahlen der C-Vorräte in 0-30 cm“.

5 **Zu enge – auf Methan reduzierte – Systemgrenzen legen falsche Schlussfolgerungen nahe**

Besonders drastisch wirken sich reduzierte Systemgrenzen auf die Bewertung der Rolle der Rinder beim Konsum tierischer Produkte aus. Daraus resultieren häufig falsche und für Umwelt und Klima nicht selten kontraproduktive Schlussfolgerungen. Der Grund liegt auch hier zumeist im Studiendesign, denn das, was zeitlich und räumlich in die Studien einfließt und was nicht, entscheidet bereits vorab über die Ergebnisse.

5.1 ...Rinder sind schlechte Futtermittelverwerter und deshalb nicht effizient

Rinder sind perfekte Grasverwerter. Aber lange bevor Rinder als *Klimakiller* galten, vermittelten Studienergebnisse bereits den Eindruck, sie seien nicht effizient. Schon in den 1970er Jahren wurde an Universitäten gelehrt, sie seien *schlechte Futtermittelverwerter*. Das beruhte damals wie heute auf Studien, deren Design zwangsläufig zu dieser Schlussfolgerung führt. Denn die Rinder werden dabei nicht in einem für Wiederkäuer artgemäßen System und somit nicht an dem gemessen, was sie gut können: Gras verdauen. Stattdessen erhalten sie hohe Anteile an Kraftfutter aus ungleich energieintensiverem Ackerbau und werden mit den Allesfressern Huhn und Schwein verglichen. Entsprechend schlussfolgern Mitarbeitende der Welternährungsorganisation (FAO), intensive Hühner- und Schweineproduktion sei *effizienter* und deshalb besser als Rindfleisch (MacLeod et al. 2013). Wissenschaftlich geboten ist hingegen, auf Unterschiede *innerhalb* der Tierarten zu fokussieren, indem zwischen nachhaltigen und industrialisierten Agrar- und Fütterungssystemen unterschieden wird.

5.2 ...Rinder sind *Klimakiller*

Rinder rülpsen das Gas Methan (CH₄); dieses ist 25-mal relevanter für das Klima als CO₂. Das ist bereits bekannt, bevor Studien beginnen. Statt Systemgrenzen auf Methan zu beschränken, müssten jeweils für die betreffende Tierart unterschiedliche Agrarsysteme bezüglich ihrer gesamten Klima- (und Umwelt-)Relevanz verglichen werden.

Dementgegen wird der Wiederkäuer Rind überwiegend allein bezüglich der Emissionen des Klimagases Methan (CH₄) bewertet und dann wiederum mit den Allesfressern Schwein und Huhn (und manchmal auch mit Fisch und Mensch) verglichen. Dabei sind die Systemgrenzen so eng gesetzt, dass das Potenzial der Beweidung zur Bodenbildung und der damit verbundenen Kohlenstoffspeicherung unberücksichtigt bleibt. Stattdessen bedingt somit das Studiendesign auch bei diesen Untersuchungen die zwangsläufige Schlussfolgerung: Rinder sind *Klimakiller* (Würger 2010). Entsprechend resümiert die FAO unter „Key facts and findings“: „Rinder (gehalten für Fleisch und Milch ebenso wie für nicht essbare Leistungen

wie Dung und Arbeitskraft) sind die Tierart, die für die meisten Emissionen verantwortlich ist. Rinder stehen für 65 Prozent der Emissionen des Sektors Viehhaltung“ (FAO o.J.). Weiterhin verbreitet sind in der Wissenschaft zudem Vergleiche mit Autos. So resümieren von Witzke und Noleppa (2007, S. 14) in einer Studie für den WWF: „Eine Milchkuh emittiert im Durchschnitt 111,7 kg Methan im Jahr. Umgerechnet in CO₂-Äquivalente entspricht das allein einer jährlichen Fahrleistung von 18.000 km eines von der Politik in der EU propagierten Personenkraftwagens mit einem durchschnittlichen CO₂-Ausstoß von 130 g/km“. Und nach Ogino et al. (2007) belastet ein Kilo Rindfleisch das Klima im gleichen Maße wie 250 Kilometer mit einem Kleinwagen.

Die einseitige Erforschung der Methan-Emissionen von Rindern begann bereits, bevor Kühe als Klimakiller dargestellt wurden. Denn schon in den 1970er Jahren fokussierte die Forschung auf die Energiemenge, die die Kühe mit dem Methan ausrülpfen. *Vergeudung* lautete das Stichwort, ohne insbesondere ihre einzigartige Leistung, auch auf den weltweit nicht ackerfähigen Böden aus Gras hocheffizient Fleisch- und Milchenergie zu bilden, mit zu berücksichtigen. Die Fütterung wurde intensiviert und immer weiter technisiert, indem die Tiere weniger weiden und das Futter stattdessen zu ihnen transportiert wird: das heißt weniger Gras und immer mehr Kraftfutter vom Acker und in der Folge Nahrungskonkurrenz zum Menschen. Hinzu kommen die durch die Produktion von Kraftfutter bedingten Klimaeffekte, denn insbesondere Lachgas (N₂O), welches circa 300-mal relevanter ist für das Klima als CO₂, bleibt ausgeblendet. N₂O entsteht insbesondere bei der Anwendung von chemisch-synthetischem Stickstoffdünger: Pro Düngeeinheit fallen 2-5 Prozent an – desto mehr, je verdichteter der Boden ist (Sutton et al. 2011) Hinzu kommen die Emissionen, die routinemäßig *nicht* berücksichtigt bzw. *nicht* der Landwirtschaft zugerechnet werden (Zhou et al. 2019, Hargita et al. 2016, Flessa et al. 2012).

Flachowsky und Brade (2007, S. 435) resümierten die Ergebnisse von Studien zur „Beeinflussung der Pansenprozesse mit dem Ziel einer nachhaltigen Reduzierung der CH₄-Bildung“. Das sei schwierig, „da die Komplexität und die Wechselwirkung vieler Umsetzungen noch nicht voll verstanden sind“. Weltweit hält die Erprobung von Substanzen zur Verringerung der Methanbildung im Pansen an. Roque et al. (2021) beziffern sie mit über 80% – durch regelmäßige Verfütterung von Algen. Es wird bereits spekuliert, wie für die Weltpopulation von circa einer Mrd. Rinder Algen generiert werden können. Ihr Potenzial als *Klimaschützer* können Rinder aber nur ausleben, wenn sie sich überwiegend als Weidetiere ernähren.

5.3 ...Rinder *verbrauchen* viel Fläche und sind deshalb *nicht effizient*

Neben der Beschränkung auf Emissionen – und häufig allein auf das Klimagas Methan – führt auch ein anderes verbreitetes Studiendesign zu absehbar falschen Schlussfolgerungen: So ist es üblich, hinsichtlich der genutzten Flächen (Böden), nicht zwischen Äckern und Dauergrünland zu differenzieren. In der Folge *verbraucht* dann ein Rind umso mehr Land, je artgerechter es mit Gras ernährt wird. Den größten und damit schlechtesten Flächenrucksack generiert dann ein Rind, welches ausschließlich auf bzw. von Dauergrünland lebt und gar keine Nahrungskonkurrenz zum Menschen bewirkt. Alle Studien, die dem Bericht „Fleisch frisst Land“ des WWF von 2011 zugrunde liegen, folgen bei der Bewertung verschiedener Tierarten und Nutzungsformen diesem Ansatz. Bei „Wie viel Fläche steckt im Fleisch?“ rangiert dann zwangsläufig das Rind ganz oben (von Witzke und Noleppa 2011, S. 53).

Ebenfalls auf Basis der kontraproduktiven *Flächeneffizienz* resümieren Eshel et al. (2014, S. 11998) für die USA: „Die Produktion von Rindfleisch erfordert 28-mal so viel Land (...) wie der Durchschnitt der anderen Nutztierkategorien“. Ebenfalls in dieser Logik rangierte die Mongolei beim WWF-International unter den größten Umweltsündern, weil das Nationaltier, das Yak, soviel Fläche *verbrauchen* würde. Ob Fleisch oder Milch: Damit bleibt das Entscheidende, nämlich die *Nahrungskonkurrenz* zum Menschen, völlig ausgeblendet und wird so der Wahrnehmung und Meinungsbildung entzogen. Entsprechend sind auf Hochleistung gezüchtete Kühe, die im Jahr 7000 Liter Milch und mehr produzieren, auf Kraftfutter vom Acker angewiesen (Idel 2020).

Zum *Flächenrucksack* kommt der *Wasserrucksack*: Für die Erzeugung eines Kilogramms Rindfleisch sind Zahlen bis 100 000 Liter Wasser im Umlauf (Pimentel et al. 1997), denn nicht nur die künstliche Bewässerung, sondern auch der Regen werden berechnet. Entsprechend reüssiert wiederum zwangsläufig die *industrialisierte* Produktion: Sie hat demnach den vermeintlich geringeren Flächen- und damit auch Wasserverbrauch. Dass die nachhaltige Nutzung von Dauergrasland mit Rindern auch beim Wasser mit keiner anderen Nutzung konkurriert, weil dabei nichts auf Kosten der menschlichen Ernährung *verbraucht* wird, gerät dabei völlig aus dem Blick (Pimentel und Pimentel 2003): Infolge seines hohen Feinwurzelanteils verfügt Dauergrasland über ein enormes Wasserspeicherpotenzial (Gyssels et al. 2005). Aufgrund der größeren Fläche und der geringeren Belastung mit chemisch-synthetischen Düngern, Herbiziden und Medikamenten leistet es quantitativ und qualitativ weltweit den entscheidenden Beitrag zur Regeneration von Grundwasser.

Hinzu kommt, dass der Begriff *Verbrauch* bei der Nutzung von Dauergrünland durch Wiederkäufer völlig unangemessen ist. Infolge der Ko-Evolution bleibt Dauergrünland *auf Dauer* nur erhalten, wenn es genutzt wird. Seine Nutzung erfolgte – unterbrochen durch Feuer – über Millionen Jahre allein durch Beweidung (McSherry und Ritchie 2013). Je nach Wasserverfügbarkeit erfolgt eine Verbuschung oder Verwaldung und damit der Verlust der Futterbasis, wenn Weidetiere vertrieben oder dauerhaft durch Zäune ferngehalten werden.

6 Ausblick

Die dargestellte vergleichsweise geringe Berücksichtigung der Potenziale des Dauergrünlandes und der Beweidung in der Wissenschaft tragen wesentlich zu der Unterschätzung seiner Potenziale bei: Das beginnt innerhalb der Wissenschaft und wirkt direkt auf die öffentliche und politische Meinungsbildung. Beides verstärkt wiederum die mangelnde Forschungsförderung.

Gleichzeitig verschlechtert zu intensives Management mit Überdüngung und Übernutzung den Status quo des Dauergrünlandes und senkt damit die Erwartungen an seine Potenziale. Die Antwort auf schlechte Grünlandqualitäten muss deshalb statt *zero grazing* lauten: *nachhaltige Beweidung* (Nickel et al. 2016, Bunzel-Drüke et al. 2019; Idel 2020).

Rinder haben im Rahmen der Ko-Evolution mit dem Dauergrünland weltweit entscheidend zur Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit beigetragen. Wie unverzichtbar Rinder und Beweidung über das Dauergrünland hinaus gerade heute für die Bodenbildung sind, zeigen die seit 25 Jahren bei hohen Inputs im intensiven Ackerbau nicht mehr steigenden Erträge (Loza et al. 2021, Taube 2021). Loza et al. (2021) dokumentieren Forschungsergebnisse im Dauergrünland und im beweideten (!) Zwischenfruchtanbau – einschließlich der

Klimaeffekte. Der Ansatz basiert auf der Tatsache, dass die meiste Bodenbildung durch Feinwurzeln generiert wird und deren Masse insbesondere von Grünlandgesellschaften stammt. Eine spezielle Voraussetzung liegt dabei in der *Vielfalt* der jeweiligen Pflanzengesellschaft (vgl. auch Dietrich et al. 2021, Oelmann et al. 2021). Nicht überraschen sollte darüber hinaus die Erkenntnis, dass diese Vielfalt eine Reduzierung der Methanemissionen bewirkt (Loza et al. 2021).

Die Lösung liegt in der Förderung biologischer Kooperationen statt Konkurrenz, damit die Balance zwischen Boden abbauenden und Boden aufbauenden Prozessen zugunsten der Letzteren verschoben wird. Verbunden mit den Effekten für die biologische Vielfalt und die Bodenbildung – und der resultierenden Klimaentlastung – kommt dem Wasserspeicher- und -aufnahmepotenzial der Rhizosphäre infolge hoher Feinwurzelanteile angesichts zunehmender Dürren und Starkregenereignisse besondere Bedeutung zu.

Der Ausweg aus den ökologischen Dilemmata liegt in ökosystemaren Ansätzen, die die Potenziale von Agrarökologie, Dauergrünland und Wald verbinden: im *Agro-silvo-pastoralism* (vgl. Rupp 2013). Das setzt politische Rahmenbedingungen voraus, damit innerhalb der Landwirtschaft insbesondere mit biologischer Vielfalt ausreichend Geld verdient werden kann (vgl. Reisinger et al. 2019).

Literaturverzeichnis

- Bakker, P. A.H. M., Berendsen, R. L., Doornbos, R. F., Wintermans, P. C. A. & Pieterse, C. M. J. (2013): *The rhizosphere revisited: root microbiomics*. In: *Front. Plant Sci.* <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00165/full> (letzter Aufruf: 11.01.2021).
- Bandel, T., Kayatz, B., Doucet, T. & Leutner, N. (2020): *Der teure Preis des Billigfleischs. Eine Studie der Soil & More Impacts GmbH für Green Peace Deutschland.* https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s03201_landwirtschaft_studie_wahre_kosten_fleisch_2020.pdf (letzter Aufruf: 18.12.2020).
- Bailey, V L, Hicks Pries, C, & K Lajtha (2019): What do we know about soil carbon destabilization? *Environ. Res. Lett.* 14 083004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2c11>.
- Bastos, A. & Fleischer, K. (2021): An analysis of experiments in which the air around terrestrial plants or plant communities was enriched with carbon dioxide reveals a coordination between the resulting changes in soil carbon stocks and above-ground plant biomass. 532 | *Nature* 591.
- Bohner, A., Foldal, C. B. & Jandl, R. (2016): Kohlenstoffspeicherung in Grünlandökosystemen – eine Fallstudie aus dem österreichischen Berggebiet. In: *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* 67(4), 225-237. DOI: 10.1515/boku-2016-0018.
- Bunzel-Drüke, M., Drüke, J., Hauswirth, L. & H. Vierhaus (1999): Großtiere und Landschaft – von der Theorie zur Praxis. *Natur und Kulturlandschaft* 3, 210-229.
- Bunzel-Drüke, M., Reisinger, E. et al. (2019): *Naturnahe Beweidung und NATURA 2000. Ganzjahresbeweidung im Management von Lebensraumtypen und Arten im europäischen Schutzgebietssystem NATURA 2000.* 2. Auflage. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz im Kreis Soest e.V. (ABU), Bad Sassendorf – Lohne. <https://www.abu-naturschutz.de/projekte/laufende-projekte/naturnahe-beweidung>.

- Buse, Jörn (2020): *Auswirkungen der Parasitenbehandlung bei Weidetieren auf Nicht-Ziel-Organismen am Beispiel von Dungkäfern*. https://www.naturstiftung-david.de/fileadmin/Medien/Downloads/NNE_Infoportal/Veranstaltungen/2020-01-21_Tierwohl_in_der_Landschaftspflege/Vortrag_Parasitenbehandlung_bei_Weidetieren_Buse.pdf (letzter Aufruf: 20.12.2020).
- Canadell, J. G., Le Quérec, C., Raupacha, M. R. et al. (Hrsg.) (2007): *Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity and efficiency of natural sinks*. Harvard University, Cambridge, MA. <http://www.pnas.org/content/pnas/104/47/18866.full.pdf> (letzter Aufruf: 10.12.2020).
- Cavicchioli, R., Ripple, W.J., Timmis, K.N. et al. (Hrsg.) (2019) Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nat Rev Microbiol* 17, 569–586. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0222-5>.
- Cebra, C., Vaughan, J. & Gauly, M. (2010): *Neuweltkameliden: Haltung, Zucht, Erkrankungen*. Stuttgart: Georg Thieme.
- Conant, Richard T. (2010): Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems. A technical report on grassland management and climate change mitigation. *FAO Rome 9*.
- Conant, T., Cerri, C., Osborne, B. & K. Paustian (2017): Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecol. Appl.* 27, 662–668.
- Covey, K., Soper, F., Pangala, S. et al. (2021): Carbon and Beyond: The Biogeochemistry of Climate in a Rapidly Changing Amazon. *Front. For. Glob. Change*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.618401>.
- Deutscher Bundestag (2020): *Auswirkungen aktueller Vorgaben auf den Grünlanderhalt*. Wissenschaftliche Dienste WD 5 – 3000 086/20. <https://www.bundestag.de/resource/blob/794026/3613f67ce498172e2bbb5382229c8931/WD-5-086-20-pdf-data.pdf> (letzter Aufruf: 06.01.2021).
- Diepolder, M., Raschbacher, S., Brandhuber, S., Demmel, M. & R. Walter (2015): *Mechanische Bodenbelastung im Grünland – ein Thema?* Seminar Pflanzliche Erzeugung am 30.11.2015. Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/mechanische-bodenbelastung-gruenland-ein-thema_foliensatz.pdf (letzter Aufruf: 19.01.2021).
- Dietrich, P., Cesarz, S., Liu, T. et al. (2021): Effects of plant species diversity on nematode community composition and diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*, 06 DOI: [10.1007/s00442-021-04956-1](https://doi.org/10.1007/s00442-021-04956-1).
- Eshel, G., Shepon, A., Makov, T. & Milob, R. (2014): Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States. *PNAS* 111 (33). 11996–12001. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1402183111.
- FAO (o.J.): *Key, facts and findings*. <http://www.fao.org/news/story/en/item/197623/icode/> (letzter Aufruf: 20.12.2020).
- Fileccia, T., Guadagni, M. & Hovhera, V. (2014): *Ukraine: Soil fertility to strengthen climate resilience*. Preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture. FAO and WB (Hrsg.) Rom. https://www.researchgate.net/publication/312136260_Ukraine_-_Soil_fertility_to_strengthen_climate_resilience_preliminary_assessment_of_the_potential_benefits_of_conservation_agriculture_Main_report_English.
- Flachowsky, G. & Brade, W. (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde* 79(6) 417-465.

- Flessa, H., Müller, D., Plassmann, K. & Osterburg, B. (2012): *Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor*. Von Thünen Institut Sonderheft 361.
- Ford, H., Garbutt, A. et al. (2016): Soil stabilization linked to plant diversity and environmental context in coastal wetlands. *Journal of vegetation science* 27(2), 259-268. <https://doi.org/10.1111/jvs.12367>.
- Global Soil Week (2019): Webseite. <https://globalsoilweek.org> (letzter Aufruf: 24.06.2021).
- GRAIN & IATP (Institute for Agriculture and Trade Policy) (2018): *Emissions impossible: How big meat and dairy are heating up the planet*. Joint publication. Madrid and Minneapolis. <https://grain.org/article/entries/5976-emissions-impossible-how-big-meat-and-dairy-are-heating-up-the-planet>.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E. & Li, Y. (2005): Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 29(2). <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>.
- Hargita, Y., Gerber, K., Oehmichen, K. et al. (2016): *Die Umweltauswirkungen der Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) in einem zukünftigen Klimaschutzabkommen*. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/2016-11-15_lulucfpost2020_uba-abschlussbericht_final.pdf (letzter Aufruf: 20.12.2020).
- Herndl, M., Kandolf, M., Böhner, A., Krautzer, B., Graiss, W. & Schink, M. (2011): *Wurzelparameter von Gräsern, Kräutern und Leguminosen als Grundlage zur Bewertung von Trockenheitstoleranz im Grünland*. 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung, S. 45-54. https://www.researchgate.net/publication/281608980_Wurzelparameter_von_Grasern_Krautern_und_Leguminosen_als_Grundlage_zur_Bewertung_von_Trockenheitstoleranz_im_Grunland.
- Hewins, D. B. et al. (2018): Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. *Sci. Rep.* 8.
- Hülsbergen, H.-J. & Rahmann, G. (Hrsg) (2015): *Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben: Forschungsergebnisse 2013-2014*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 29, doi:10.3220/REP_29_2015.
- Huyghe C., De Vlieghe, A. & Goliński, P. (2014): European grasslands overview: temperate region. *Grassland Sci. Europe* 19, 29-40.
- Idel, A. (2010): *Die Kuh ist kein Klima-Killer!* Marburg: Metropolis (8. Auflage 2021).
- Idel, A. (2018): Der Wert nachhaltiger Beweidung mit Rind & Co. für Bodenfruchtbarkeit, Klima und biologische Vielfalt. In: Idel, A. & Beste, A. (Hrsg.), *Vom Mythos der klimasmarten Landwirtschaft*. – Martin Häusling MdEP/Die Grünen im Europäischen Parlament, Brüssel. <https://www.martin-haeusling.eu/presse-medien/publikationen/2130-studie-vom-mythos-der-klimasmarten-landwirtschaft.html> (letzter Aufruf: 11.01.2021).
- Idel, A. (2020): Zur (Nicht-)Wahrnehmung landwirtschaftlich genutzter Tiere als fühlende Lebewesen: gestern – heute – morgen, in: Schäffer, J. (Hrsg.) (2020): *Zukunft braucht Vergangenheit: Die Bedeutung der Geschichtsforschung für die Tiermedizin*. Freie Themen (20. Jahrestagung der DVG-Fachgruppe Geschichte), Giesen, S. 173–190.
- Idel, A. (2020): The value of sustainable grazing for soil fertility, climate and biodiversity. In: Idel, A. & Beste, A. , *The myth of climate smart agriculture – why less bad isn't good*. Martin Häusling/The Greens EFA in the European Parliament, Brussels (Hrsg.). <https://www.martin->

haeusling.eu/images/publikationen/Klimawandel2020_EnglischeVersion_final.pdf
(letzter Aufruf: 19.01.2021).

- Idel, A. & Reichert, T. (2013): Livestock production and food security in a context of climate-change and environmental and health challenges. In: Hoffmann, U. (Hrsg.), *Wake up before it is too late. Transforming Agriculture to cope with climate change and assure food security*. UNCTAD Trade and Environment Review 2013, Geneva. <http://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=666/>; https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ditcted2012d3_en.pdf (letzter Aufruf: 18.01.2021).
- Isermeyer, F., Heidecke, C. & Osterburg, B. (2019): *Einbeziehung des Agrarsektors in die CO₂-Bepreisung*. Thünen Working Paper 136. Braunschweig, https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_136.pdf (letzter Aufruf: 20.01.2021).
- Jacobs A., Flessa H., Don A. et al. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, *Thünen Rep 64*, DOI:10.3220/REP1542818391000.
- Jotz, S., Konold, W., Suchomel, C. & Rupp, M. (2017): *Lichte Wälder und biotische Vielfalt*. 13. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 107, 13-153.
- Jaubert, J., Verheyden, S., Genty, D. et al. (2016): Early Neanderthal constructions deep in Bruniquel Cave in southwestern France. *Nature* 534, 111–114. <https://doi.org/10.1038/nature18291>.
- Landzettel, M. (2020): *Vielleicht haben wir noch 10 Jahre: US-amerikanische Bauern gehen neue Wege im Kampf gegen die Folgen der Klimakrise*. Hamm: AbL.
- Loza, C., Reinsch, T., Loges, R. et al. (2021): Methane Emission and Milk Production from Jersey Cows Grazing Perennial Ryegrass–White Clover and Multispecies Forage Mixtures. *Agriculture* 11, 175, <https://doi.org/10.3390/agriculture11020175>.
- Luo, Z., Wang, E. & Sun, O. J. (2010): Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139 (1-2), 224-231. Elsevier.
- McIntyre, B. D., Herren, H. R., Wakhungu, J. & Watson, R. T. (Hrsg.) (2009): *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Global Report*. Washington DC: Island Press.
- MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T., Henderson, B. & Steinfeld, H. (2013): *Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- McSherry, M. E. & Ritchie, M. E. (2013): Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Glob. Change Biol.* 19, 1347-1357.
- Melo, T. P., Ribeiro, A. M., Martinelli, A. G. & Bento Soares, M. (2019): Early evidence of molariform hypsodonty in a Triassic stem-mammal. *NATURE COMMUNICATIONS* 10, 2481. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10719-7>.
- Möckel, S. (2018): *Gute fachliche Praxis, Eingriffsregelung und Landwirtschaft*. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig: https://www.ufz.de/export/data/2/206009_Moeckel_DNRT2018.pdf (letzter Aufruf: 19.01.2021).
- Mueller, K. E., Tilman, D., Fornara, D. & Hobbie, S. E. (2013): Root depth distribution and the diversity-productivity relationship in a long-term grassland experiment. *Ecology*, 94(4), 787-793, Ed. Ecological Society of America.

- Nickel, H., Reisinger, E., Sollmann, R. et al. (2016): Außergewöhnliche Erfolge des zoologischen Artenschutzes durch extensive Ganzjahresbeweidung mit Rindern und Pferden. Ergebnisse zweier Pilotstudien an Zikaden in Thüringen, mit weiteren Ergebnissen zu Vögeln, Reptilien und Amphibien. *Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen* 53 (1) 2016: 5–20 5.
- Oelmann, Y., Lange, M., Leimer, S. et al. (2021). Above- and belowground biodiversity jointly tighten the P cycle in agricultural grasslands. *Nat Commun* 12, 4431 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24714-4>.
- Ogino, A. et al. (2007): Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method. *Animal Science Journal* 78(4), 424-432. DOI: 10.1111/j.1740-0929.2007.00457.x.
- Peyraud, J. L., van den Pol-van Dasselaar, A., Collins, R. P., Huguenin-Elie, O., Dillon, P. & Peter, A. (2014): Multi-species swards and multi scale strategies for multifunctional grassland-base ruminant production systems: an overview of the FP7-MultiSward project. *Grassland Sci. Europe* 19, 695-715.
- Pfadenhauer, J. & Klötzli, F. (2014): *Vegetation der Erde. Grundlagen, Ökologie, Verbreitung*. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum.
- Pimentel, D. J. et al. (1997): Water resources: Agriculture, the environment, and society. *BioSci.* 47, 97-106.
- Pimentel, D. & Pimentel, M. (2003): World population, food, natural resources, and survival. *World Futures* 59, 145-167.
- Poeplau, C. H. et al. (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.
- Poeplau, C. & Don, A. (2013): Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma* 192(1): 189-201.
- Poeplau, C. (2016): Estimating root: shoot ratio and soil carbon inputs in temperate grasslands with the RothC model. *Plant and Soil* 407, 293-305. www.jstor.org/stable/44136927. (Letzter Aufruf: 16.07.2021).
- Prairie dogs (o.J.). <https://defenders.org/wildlife/prairie-dog> (letzter Aufruf: 10.12.2020).
- Reisinger, E., Luick, R., Freese, J., Schoof, N., Kämmer, G. & Solmann, R. (2019): Vorschlag/Forderungen für eine verbesserte Förderung von extensiven Weidesystemen in einer neuen GAP im Detail. In: Bunzel-Druke, M., Reisinger, E. et al. (Hrsg.): *Naturnahe Beweidung und NATURA 2000. Ganzjahresbeweidung im Management von Lebensraumtypen und Arten im europäischen Schutzgebietssystem NATURA 2000*. Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz, 2. Auflage.
- Roque, B.M., Venegas, M., Kinley, R.D., de Nys, R., Duarte, T.L., Yang, X. et al. (2021): Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLoS ONE* 16(3): e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal>.
- Roser, M. & Ritchie, H. (2018): *Yields and Land Use in Agriculture*. <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture> (letzter Aufruf: 19.05.2018).
- Rumpel, C., Creme, A., Ngo, P.T. et al. (2015): The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 15(2), 353-371. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000034>.
- Rupp, Mattias (2013). Beweidete lichte Wälder in Baden-Württemberg: Genese, Vegetation, Struktur, Management. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg.

- Saatkamp, A., Poschlod, P. and Venable, D.L. (2014): Seeds: The Functional Role of Soil Seed Banks in Natural Communities. *CAB International 2014. The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 3rd Edition (Gallagher, R.S. Hrsg.), S. 263-295. https://www.researchgate.net/publication/260797489_The_Functional_Role_of_Soil_Seed_Banks_in_Natural_Communities.
- Sanders, J. & Heß, J. (Hrsg.) (2019): *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft*. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 65, DOI:10.3220/REP1576488624000.
- Sexlinger, K. (2020): Bodenverdichtung – Ursachen, Auswirkungen und Vorsorgemaßnahmen. Umweltinstitut - Bericht UI-02/2020 (Hrsg.). <https://vorarlberg.at/documents/302033/473021/Bodenverdichtung+-+Ursachen%2C+Auswirkungen+und+Vorsorgema%C3%9Fnahmen.pdf/0e10a79b-846c-cb91-7283-bbad97d3fd49> (letzter Aufruf: 25.07.2021).
- Sobotik, S., Eberwein, R.K., Bodner, G. et al. (2020): Pflanzenwurzeln: Wurzeln begreifen – Zusammenhänge verstehen – In der Praxis anwenden. DLG Verlage Frankfurt aM.
- Soussana, J. F. et al. (2007): Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agricult. Ecosyst. Environ.* 121, 121-134.
- Soussana, J. F., Tallec, T. & Blanfort, V. (2010): Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal* 4(3), 334-350.
- Stahl, H. (2009): *Gute fachliche Praxis für Grünland: Bodengefüge- und Narbenschutz. Bodendruck im Grünland*. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Heft 3.
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W. et al. (Hrsg.) (2011): *The European Nitrogen Assessment. Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Takeshi, H. & Tamae, K. (2011): Review Earthworms and Soil Pollutants. *Sensors* 2011, 11, 11157-11167; doi:10.3390/s111211157.
- Taube, F. (2021): Die Regelungen zur guten fachlichen Praxis der Düngung (DüV 2020) widersprechen der Zweckbestimmung des Düngegesetzes und tragen zur Verfehlung der Umweltziele Deutschlands und der EU bei. Expertise zur Bewertung des neuen Düngerechts (DüngeG, DüV, AVV GeA) von 2020 in Deutschland aus Sicht des Trinkwasserschutzes.
- Gutachten im Auftrag von: BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. https://www.bdew.de/media/documents/PI_20210707_Expertise-Prof-Taube-Bewertung-D%C3%BCngerecht-2020.pdf (letzter Aufruf 24.07.2021).
- Terrer, C.; Phillips, R.P.; Hungate, B.A. et al. (2021): A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO₂. *Nature* 591, pp 599-616. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03306-8>.
- UBA (2020): *Factsheet Moore*. Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt, Berlin. https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/Factsheet_Moore.pdf?sessionid=E163F66FCF08FDE28C4474D37A939DFC.2_cid321?__blob=publicationFile&v=9 (letzter Aufruf 16.07.2021).
- Ungar, P. S. (2015): Mammalian dental function and wear: A review. Department of Anthropology, University of Arkansas. *Biosurface and Biotribology* 1, 25-41.
- Vanselow, R. (2010): Grasendophyten in *Lolium* und *Festuca* – Gifte, Symptome und Gegenmaßnahmen. *Pferde Spiegel* 13(03), 129-133. doi:10.1055/s-0030-1250271.

- Velthof, G.L., Lesschen, J.P., Schils, R.L.M., Smit, A., Elbersen, B.S., Hazeu, G.W., Mucher, C.A. & Oenema, O. (2014): *Grassland areas, production and use*. Wageningen. http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2393397/8259002/Grassland_2014_Final+report.pdf/58aca1dd-de6f-4880-a48e-1331cafae297 (letzter Aufruf: 23.01.2021).
- van Vuure, C. (2002): *History, morphology and ecology of the auerochs bos*. https://www.researchgate.net/publication/228762518_HISTORY_MORPHOLOGY_AND_ECOLOGY_OF_THE_AUROCHS_BOS/citation/download (letzter Aufruf: 12.12.2020).
- Vera, F. (2002): *Grazing ecology and forest history*. Cab Intl. https://www.researchgate.net/publication/273108489_Grazing_Ecology_and_Forest_History (letzter Aufruf: 01.12.2020).
- Wang, W. & Fang, J. (2009): Soil respiration and human effects on global grasslands. *Global and Planetary Change* 67, 20-28.
- Wang, X. et al. (2016): Grazing improves C and N cycling in the Northern Great Plains: a meta-analysis. *Sci. Rep.* 6, 33190.
- White, R.P., Murray, S. & Rohweder, M. (2000): *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grassland Ecosystems*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Witzke, H. von & Noleppa, S. (2007): *Methan und Lachgas – Die vergessenen Klimagase*. Herausgeber: WWF Deutschland, Frankfurt am Main, 1. Auflage, S. 8.
- Würger, T. (2010): Das Rülpsen der Rinder. *Der Spiegel* 42 18.10.2010.
- Young, O.P. (2015): Predation on dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae): A literature review. *Trans. Am. Entomol. Soc.* 141, 111–155.
- Zhou, X., Passow, F. H., Rudek, J., Von Fisher, J. C., Hamburg, S. P. & Albertson, J. D. (2019): Estimation of methane emissions from the U.S. ammonia fertilizer industry using a mobile sensing approach. *Elem Sci Anth.* 7(1). 19 DOI: 10.1525/elementa.358.