

Dachverband
Agrarforschung



agrар

spectrum

Band 53

Ökologisierung der Landwirtschaft



Verlag

agrarspectrum

Schriftenreihe

des Dachverbandes wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar-,
Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung, DAF e.V.

Band 53

Ökologisierung der Landwirtschaft

Wissenschaftliche Online-Tagung des
Dachverbandes Agrarforschung (DAF) e.V.

am 15. Oktober 2020

Herausgeber:
Dachverband Agrarforschung e.V.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Schriftenreihe agrarspectrum wird vom Vorstand des Dachverbandes Agrarforschung herausgegeben. Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muss über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren, Scannen der Abbildungen, einschließlich Speicherung, Veränderung, Manipulation im Computer und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien.

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.

Redaktion: Meike Packeiser, Silke Ausmeier

DAF e.V., Eschborner Landstraße 122
60489 Frankfurt am Main
Telefon: (069) 247 88 322
Telefax: (069) 247 88 114
E-mail: S.Ausmeier@dlg.org
Internet: www.agrarforschung.de

© 2020 DLG-Verlag GmbH, Eschborner Landstraße 122
60489 Frankfurt am Main
Telefon: (069) 247 88 0
Telefax: (069) 247 88 484
E-mail: dlg-verlag@dlg.org
Internet: www.dlg-verlag.de

Inhalt	Seite
Vorwort	4
<i>Prof. Dr. Karl H. Mühling, Präsident des DAF, Kiel</i>	
Was bedeutet Ökologisierung im Kontext der Agrarökologie	5
<i>Prof. Dr. Alexander Wezel, Lyon</i>	
Ist 100 % Ökologisierung besser als 20 % Ökolandbau?	16
<i>Prof. Dr. Friedhelm Taube, Kiel</i>	
Strategien zur Förderung von Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften	31
<i>Prof. Dr. Emily A. Poppenborg Martin, Hannover</i>	
Lebensmittelerzeugung mit Nutztieren in einer ökologisierten Landwirtschaft – Ziele und Zielkonflikte	38
<i>Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum, Bonn</i>	
Verzeichnis der Autoren	47

Vorwort

Prof. Dr. Karl H. Mühling, Präsident des DAF, Kiel

Der fortschreitende Klimawandel, nitratbelastetes Grundwasser, der Verlust von Biodiversität und der gesellschaftliche Druck umweltfreundlicher zu produzieren fordern von der Landwirtschaft neue innovative Strategien im Ackerbau und in der Tierhaltung.

In diesem Zusammenhang bleibt es fraglich, ob die Herausforderungen allein durch einen flächendeckenden Ökolandbau gelöst werden können. Dieser begrenzte und empfindliche Markt setzt für seine Funktionsfähigkeit höhere Lebensmittelpreise und eine deutlich höhere Flächenprämie voraus. Allerdings können beide Produktionssysteme ökologisch und konventionell voneinander lernen, um Nachhaltigkeit und Produktivität zu fördern. In diesem Zusammenhang wird der Begriff Hybridlandwirtschaft verwendet, die die besten Produktionsansätze aus der biologischen und der konventionellen Landwirtschaft vereint.

Im Rahmen der DAF-Jahrestagung sollen Lösungsmöglichkeiten zu einer gesellschaftlich anerkannten landwirtschaftlichen Produktion aufgezeigt werden. Die Tagung umfasst vier Teilgebiete zur Ökologisierung der Landwirtschaft:

- I. Anpassung von pflanzlichen Produktionsverfahren an veränderte Rahmenbedingungen
- II. Strategien zur Förderung und Nutzung der Biodiversität für eine ökologisierte Landwirtschaft
- III. Die Bedeutung der Nutztierhaltung in einer ökologisierten Landwirtschaft
- IV. Ökologisierung der Landwirtschaft: Bedeutung für Agrarpolitik und Betriebswirtschaft.

Der DAF e.V. hat die Tagung dem interdisziplinären Themenkomplex Ökologisierung der Landwirtschaft und lädt Akteure aus Forschung, landwirtschaftlicher Praxis, Wirtschaft und Politik ein, Anpassungen, Strategien, unterschiedliche Sichtweisen sowie neue Ideen in pflanzlichen Produktionsverfahren, Ökosystemen, der Nutztierhaltung und der Betriebswirtschaft zu diskutieren.

Agrarökologie – Elemente, Interpretation, Praktiken und Ökologisierung

Alexander Wezel, ISARA, Lyon, France

Es werden der globalen Landwirtschaft große Anstrengungen abverlangt, für die zu erwartenden 9,1 Milliarden Menschen im Jahr 2050 genügend Nahrungsmittel zu produzieren. Zwei Milliarden mehr Menschen – das könnte bedeuten, dass 30-50 Prozent mehr Nahrungsmittel erforderlich sind (FAO 2017), neuerer Schätzungen gehen eher von 19% aus, unter einem Business-as-usual Szenario (Berners-Lee et al. 2018). Theoretisch gäbe es schon heute genug Nahrungsmittel für diese Zahl von Menschen (IPES-Food 2016, HLPE 2014, 2017, Chappell 2018) oder sogar 9,75 Milliarden (Berners-Lee et al. 2018), aber es wird je nach regionalen Konsumverhalten an einer Stelle überproduziert und verschwendet, an anderer Stelle schlecht verteilt. Ebenso sind Verluste bei Lagerung, Transport und Verarbeitung zu nennen. Weitere große Herausforderungen für die Landwirtschaft in allen Kontinenten sind die notwendige Anpassung an den Klimawandel, die Verminderung des Beitrags der Landwirtschaft am Klimawandel, die Verhinderung eines weiter zunehmenden Verlustes an Biodiversität in Agrargebieten, als auch eine gerechtere Verteilung der Wertschöpfung für die Landwirte innerhalb der Vermarktungsketten.

Spezifische Herausforderungen denen sich die Landwirtschaft in Europa und insbesondere Deutschlands stellen muss sind unter anderem der anhaltend starke Rückgang der Biodiversität in Agrarlandschaften (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina et al. 2020), die hohen oder zu hohen Nitratwerte im Grundwasser in vielen Gebieten (European Commission 2018, European Environment Agency 2018), und auch Kontaminierung von Pflanzenprodukten mit verschiedenen Pestiziden, z.T. über die legalen Grenzwerte hinaus (European Food Safety Authority 2017).

Neben einer steigenden Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln, werden daher zunehmend Forderungen laut, die Entwicklung in Richtung einer wirklich nachhaltigen Landwirtschaft voranzutreiben – basierend auf einer umweltfreundlichen Produktion, ökonomisch rentabel und sozial gerecht. Auf allen Kontinenten sollen Ackerbau und Viehzucht zugleich den Klimawandel nicht länger befeuern, sich an dessen Folgen anpassen und den bedrohlichen Verlust an Biodiversität stoppen, und generell negative Umwelteinflüsse vermin-

dern. Dies kann nur durch eine Transformation der gegenwärtigen Agrar- und Nahrungssysteme erfolgen.

Die Debatte über die bestmöglich geeigneten landwirtschaftlichen Praktiken für das Ziel einer größeren und zugleich nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion ist jedoch kontrovers. Optionen erstrecken sich von hoch technologisierten zu ökologisch-basierten Praktiken. Auf der einen Seite sind dies die Präzisionslandwirtschaft, die satellitengestützte Anwendungen für eine optimierte Dünger- oder Pestizidausbringung einsetzt, sowie die Verwendung von genetisch veränderten Organismen im Pflanzenbau. Auf der anderen Seite stehen Praktiken wie z.B. die biologische Schädlingsbekämpfung, Direktsaat, Mischsorten- und Mischkulturanbau, Leguminosen-Untersaat, und diversifizierte Kulturfolgen.

Die Agrarökologie kann für alle diese Herausforderungen eine bedeutende Rolle spielen. Denn sie versucht, Lösungsansätze für alle Arten von Landwirtschaft zu bieten, seien sie konventionell, integriert oder biologisch, aber auch Wege für die Umstrukturierung von Vermarktungsketten, die für alle Akteure fair sind, und für die Gestaltung nachhaltiger Ernährungssysteme.

Elemente und Interpretation der Agrarökologie

Ein agrarökologischer Ansatz für nachhaltige Nahrungssysteme kann definiert werden als einer, der bevorzugt natürliche Abläufe nutzt, externe Inputs äußerst sparsam gebraucht, geschlossene Kreisläufe fördert, um negative externe Auswirkungen zu minimieren, die Bedeutung von gelebten örtlichen Erfahrungen großschreibt, aber auch wissenschaftliche Methoden einbezieht sowie partizipativ vorgeht – und das gegen soziale Ungleichheiten.

Drei Hauptelemente der Agrarökologie können benannt werden (Abb. 1). Diese kommen in unterschiedlicher Bedeutung in verschiedenen Ländern der Welt auch unterschiedlich stark zum Tragen, auch je nach historischer Entwicklung der Agrarökologie in diesen Ländern (siehe auch Wezel et al. 2009).

Zum einen ist dies die Agrarökologie als wissenschaftliche Disziplin, innerhalb derer verschiedene Skalen untersucht und bearbeitet werden. Dies reicht von der Feldskala über das Agrarökosystem bis hin zu den Nahrungsmittelsystemen. Letztere Skala wird seit den 2000er Jahren zur Agrarökologie hinzugerechnet. Einen Überblick über die gegenwärtigen Forschungsthemen, die in Europa dazu bearbeitet werden gibt Wezel et al. (2018).

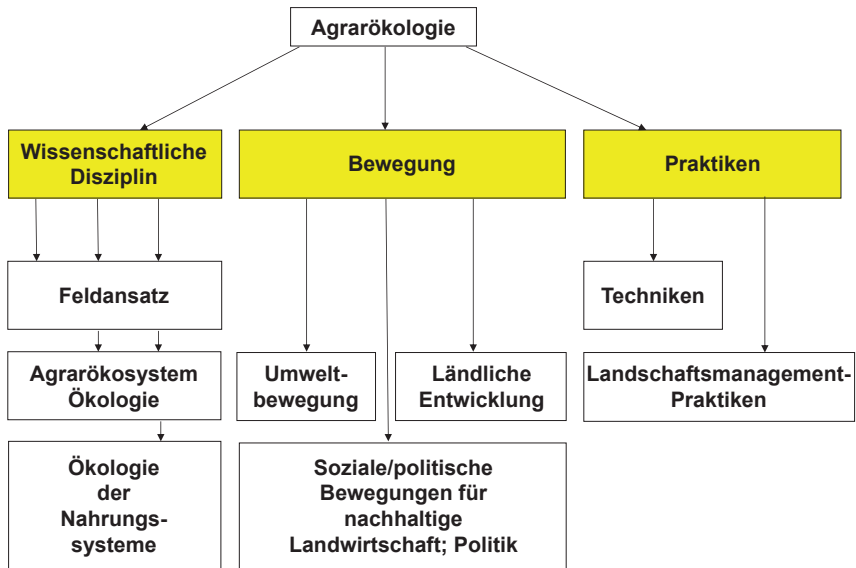


Abbildung 1. Elemente der Agrarökologie (angepasst aus Wezel et al. 2009 und Wezel 2017)

Zweitens, mit der Agrarökologie verbunden sind verschiedenen Bewegungen die aus Bewegungen für einen besseren Schutz der Umwelt oder für bessere ländliche Entwicklung entstanden sind. Darüber hinaus sind soziale und politische Bewegungen entstanden wie z.B. Bauernorganisationen die oft als Reaktion auf landwirtschaftliche Krisen entstanden sind und versuchen mit einer Vielzahl von Initiativen, einen breiten Wandel in der Landwirtschaft und den Ernährungssystemen herbeizuführen. Sie bestehen auf ihren kollektiven Rechten und treten für diversifizierte, lokal angepasste Agrar- und Nahrungssysteme ein. Und sie stellen sowohl die Verbindung zwischen Agrarökologie, dem Recht auf Nahrung und Nahrungssouveränität in den Vordergrund wie auch den notwendigen politischen Kampf, um von den vorherrschenden Machtstrukturen ihrer Gesellschaft zu größerer Gerechtigkeit zu gelangen.

Ein drittes Element der Agrarökologie beinhaltet ein Set von Praktiken, die im Folgenden detaillierter beschrieben werden.

Die Entwicklung der drei Hauptelemente der Agrarökologie begann in den 1930er Jahren, mit den ersten wissenschaftlichen Veröffentlichungen (Wezel und Soldat 2009, Wezel et al. 2009). Ab den 70er Jahren entwickelten sich auch allmählich die Bewegungen und die Praktiken (Abb. 2). Hervorzuheben ist hier,

dass das erste Buch weltweit mit dem Titel Agrarökologie von dem deutschen Ökologen Wolfgang Tischler aus dem Jahr 1965 stammt (Tischler 1965).

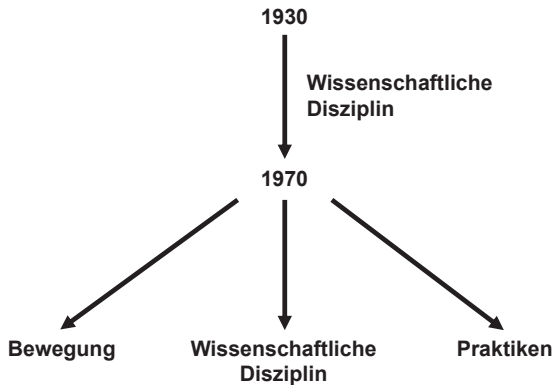


Abbildung 2. Historische Entwicklung der Agrarökologie.

Agrarökologische Praktiken

Agrarökologische Praktiken können als landwirtschaftliche Praktiken definiert werden, die darauf abzielen, ausreichende Mengen an Lebensmitteln zu produzieren, die ökologische Prozesse und Ökosystemleistungen bestmöglich als grundlegende Elemente bei der Entwicklung der Praktiken nutzen und sich nicht nur auf gewöhnliche Techniken wie chemische Düngemittel und synthetische Pestizide stützen, oder technologische Lösungen wie gentechnisch veränderte Organismen (Wezel et al. 2014).

Verschiedene agrarökologische Anbaupraktiken im Pflanzenbau sind in Abbildung 3 dargestellt. Zu ihnen gehören z.B. verminderte Bodenbearbeitung, Direktsaat, Mischsorten- und Mischkulturanbau, Leguminosen-Untersaat und diversifizierte Kulturfolgen, um nur einige zu nennen. Sie fördern zum einen die Aktivität von Bodenorganismen und erhöhen die Bodenfruchtbarkeit, zum anderen bringen sie auch eine Diversifizierung des Agrarsystems mit sich. Weiter agrarökologische Praktiken umfassen biologische Schädlingsbekämpfung, organische Düngung oder auch die Integration von seminatürlichen Landschaftselement in die Landschaft, aber auch auf Feld oder Farmniveau. Ein wichtiger Aspekt ist, dass viele agrarökologische Praktiken sowohl auf der Nutzung der Biodiversität basieren als auch auf einer Diversifizierung der Systeme.

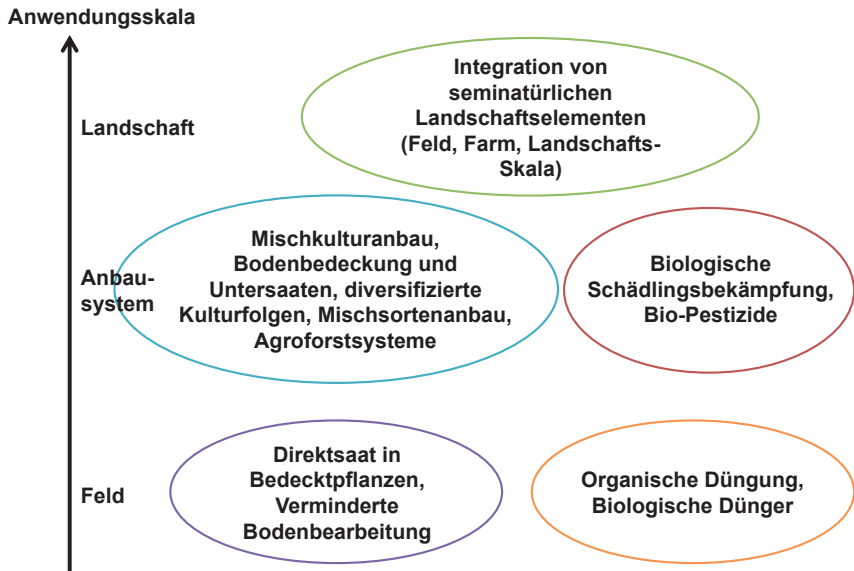


Abbildung 3. Agrarökologische Anbaupraktiken im Pflanzenbau (angepasst aus Wezel et al. 2014)

Agrarökologische Praktiken existieren weltweit und werden in unterschiedlichem Maß in verschiedenen Regionen und klimatischen Bedingungen angewandt. Ihre Anwendung bedeutet aber oft auch für Landwirte, dass sie diversifizierte, komplexere Systeme handhaben müssen. Damit gehen sie ökonomische und technische Risiken ein. Denn jährliche Erträge einzelner Anbaukulturen variieren zum Teil stärker, und Techniken wie Mischkulturen mit Leguminosen für die Fixierung von Stickstoff und die Unterdrückung von Unkraut können wegen der natürlichen Interaktionen weniger kontrolliert werden als mit einem simpleren chemischen Dünger- und Pestizideinsatz. Parallel dazu existiert die Diskussion, ob diversifizierte Systeme angesichts der Extremwetterereignisse stabiler sind als die Simplifizierten, und deshalb auch für Landwirte eine Anpassungsstrategie an den Klimawandel sein können.

In den letzten Jahren wurde verstärkt untersucht inwieweit die Nutzung von agrarökologischen Praktiken und Ansätze in verschiedenen Nutzungssystemen sich auch positive auf verschiedenen ökonomische Parameter auswirkt. Genau diese positiven Effekte zeigt eine Studie für verschiedene Beispiele aus Europe (van der Ploeg et al. 2019). Ein weitere weltweite Meta-Studie zeigt ebenfalls positive Auswirkung des Einsatzes agrarökologischer Praktiken auf die Rentabilität des landwirtschaftlichen Betriebs oder Familienbetriebs für die Mehrheit der

Fälle (66%), aber auch keine Effekte (11%) oder negative (23%) (D'Annolfo et al. 2017). Fast identische Zahlen wurde für Ernteerträge festgestellt.

Politik und Gesetze für agrarökologische Landwirtschaftssysteme

Soll eine Entwicklung und stärkere Implementierung der Agrarökologie stattfinden, stellt sich natürlich die Frage, ob und wie ist Agrarökologie überhaupt umsetzbar angesichts der gegenwärtigen politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen? Hier können verschiedene Politikansätze, aber auch Gesetze mit Bezug zur Agrarökologie genannt werden, die in den letzten Jahren entwickelt oder implementiert wurden.

Zunächst ist hier Frankreich zu nennen. Im Dezember 2012 hat der damalige Agrarminister Stephane le Foll das "Agrarökologische Projekt für Frankreich" für alle Arten der Landwirtschaft auf den Weg gebracht, dass auch in einem Gesetz für Agrarökologie im Jahre 2014 mündete. Es sieht vor, in den Bereichen Beratung und Unterstützung der Landwirte, Forschung, Hochschullehre und schulische Ausbildung in den landwirtschaftlichen Gymnasien eine Entwicklung zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft, basierend auf agrarökologischen Anbaumethoden und Ansätzen, einzuleiten.

Auch wenn diese Politik nicht unmittelbar auf breite Unterstützung einiger Bauernverbände und Landwirtschaftskammern stieß, so sind seitdem doch wichtige Entwicklungen und ein Paradigmenwechsel zu verzeichnen (Wezel und David, im Druck). Eine wichtige positive Folge davon ist zum Beispiel, dass viele betroffene Akteure in die Umsetzung dieser Politik eingebunden werden.

Als historisch darf auch gelten, dass der bis 2019 amtierende Generaldirektor der Welternährungsorganisation (FAO), José Graziano da Silva, 2014 während der ersten FAO-Konferenz zur Agrarökologie und Ernährungssicherheit zum ersten Mal in der Geschichte der UN-Organisation die Agrarökologie als alternativen Ansatz zum bisher noch vorherrschenden klassischen Ansatz der Produktionssteigerung anerkannte. Dies wurde in mehreren Regionalkonferenzen in verschiedenen Kontinenten in den folgenden Jahren fortgeführt. Beim 2. International Symposium in Rom im April 2018 wurde sie vom Generaldirektor sogar als wichtiger Pfeiler für die zukünftige Entwicklung von nachhaltiger Landwirtschaft und Ernährungssystemen herausgestellt – mit der Forderung, die notwendigen Politikmaßnahmen dafür zu entwickeln und umzusetzen.

Weitere im Juni 2020 veröffentlichte EU-Strategien, die verschiedenen Punkte

für die Weiterentwicklung und Implementierung verschiedener Aspekte der Agrarökologie beinhalten, sind die „Farm to Fork“ und die „Biodiversity“ Strategien. Sie nennen zum Beispiel eine 50% Reduzierung des Pestizideinsatzes bis 2030 in Europa, ein 20% Düngereinsatz-Reduzierung, den Schutz von Bestäubern und seminaturlichen Landschaftselement, also auch eine Ausweitung des biologischen Landbaus auf 25% der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2030.

Expertenbericht Agrarökologie und Politikempfehlungen

Ein kürzlich veröffentlichter Expertenbericht im Auftrag des Komitees für Welternährungssicherheit über Agrarökologie und andere innovative Ansätze für nachhaltige Landwirtschaft und Nahrungssysteme die Ernährung und Ernährungssicherheit verbessern, widmet sich den gegenwärtigen globalen Herausforderungen und gibt Empfehlungen an Politiker und Regierungen wie dies zu erreichen ist (HLPE 2019).

Der Bericht basiert auf einer umfassenden Recherche der gegenwärtigen Situation der Landwirtschaft und Nahrungsmittelsysteme, beschreibt die Grundlagen der Agrarökologie und inwieweit agrarökologische Ansätze richtungsweisend für die Zukunft sein können oder sollen, und stellt dies anderen Ansätzen wie nachhaltige Intensivierung oder klima-smarte Landwirtschaft gegenüber. Der Bericht stellt weiter auch kontroverse Debatten zum Erreichen der Nahrungsmittelsicherheit dar wie Bio- oder Digitaltechnologie, Einsatz von synthetischen Pflanzendünger, Biodiversitätserhaltung in Agrarlandschaften, kleine oder große landwirtschaftlich Betriebe, und ob die Agrarökologie die Welt ernähren kann. Der Bericht zeigt, dass viele Landwirte und andere Akteure in agrarökologischen Nahrungssystemen praktizieren und fördern Agrarökologie heute weltweit in verschiedenen lokal angepassten Formen. Ihre Praktiken nutzen, erhalten und steigern biologische und ökologische Prozesse in der landwirtschaftlichen Produktion, um weniger gekaufte Produktionsmittel einzusetzen, die auf fossilen Brennstoffen und Agrochemikalien basieren, und um Agrarökosysteme zu entwickeln, die diversifizierter, anpassungsfähiger und produktiver sind.

Regierungen und Politik legt der Expertenbericht Empfehlungen nahe, wobei hier nur einige dargestellt werden sollen. So sollten bei der Leistungsbewertung von Nahrungsmittelsystemen in Zukunft relevante Parameter für Produktion und Konsum berücksichtigt werden, die auch Auswirkungen auf die Umwelt, das soziale Gefüge und die Wirtschaftlichkeit spiegeln. Insbesondere müsse der ökologische Fußabdruck verschiedener Systeme verbessert werden. Regierungen sollten diversifizierte und resiliente Systeme fördern, wie die Integration von Tierhaltung und Pflanzenzucht, aber auch Agroforstsysteme, die Biodiversität erhal-

ten und verbessern und natürliche Ressourcen schonen.

Somit sollten Subventionen, Fördergelder und andere Anreize umgelagert werden, die Praxis von partizipativem und inklusivem Landmanagement und -planung gefördert werden, und schließlich seien internationale und nationale Regeln für genetische Ressourcen und geistiges Eigentum so anzupassen, dass Landwirte leichter Zugang zu traditionellen und lokalen genetischen Ressourcen bekommen und auch der Austausch von Saatgut von Landwirt zu Landwirt verbessert wird. Auch die Regeln und Vorschriften über den Einsatz von Chemikalien und chemischen Produkten, die schädlich für Gesundheit und Umwelt in landwirtschaftlichen und Nahrungssystemen sind, bedürften einer Überarbeitung.

Empfohlen wird zudem die Unterstützung von innovativen Vermarktungsketten und deren Plattformen sowie von Gründerzentren im Agrar- und Nahrungssektor. Besonderes Augenmerk gebühre der Entwicklung von lokalen und regionalen Märkten, Zentren und Infrastrukturen für die Verarbeitung und direkteren Vermarktung von frischen Produkten aus der Ernte agrarökologisch produzierender Kleinbauern und mittelgroßen Betrieben.

Unter Herstellern wie Verbrauchern sollten Vereinigungen, Zusammenschlüsse und Kooperativen gefördert werden, damit diese Kapazität für Wissen und Austausch über die Anwendung agrarökologischer Innovation aufbauen und damit den Übergang zu nachhaltigen Nahrungssystemen fördern. Und schließlich mahnt der Expertenbericht einen weiteren zentralen Punkt an: Dass die Politik im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft nämlich bislang nur äußerst geringe Mittel für agrarökologisch produzierende Landwirte und agrarökologische Forschung zur Verfügung stellt, und dies zumindest ausgeglichen werden sollte.

Schlussfolgerungen

Agrarökologische Ansätze und Praktiken ermöglichen stärker diversifizierte und resiliente Systeme. Überdies basieren viele agrarökologische Praktiken auf der Nutzung der Biodiversität, und viele Landwirte nutzen diese auch schon in vielfältiger Weise. Ebenso sind ökonomische Verbesserungen für Landwirte nachweisbar.

Dennoch betrachten viele Politiker und landwirtschaftliche Akteure die Agrarökologie noch mit Skepsis. Doch schon existierende und funktionierende Beispiele zeigen realistische Möglichkeiten auf, eine künftige Landwirtschaft nachhaltig zu gestalten: Von der Kleinbauern genauso leben können wie größere Betriebe, die entscheidende Umweltbelange berücksichtigt, und die eine wach-

sende Weltbevölkerung mit genügend und qualitativ hochwertigen Produkten versorgt. Ein Beitrag der Politik ist hierfür jedoch unerlässlich, da den Landwirten allein diese Verantwortung nicht übertragen werden kann.

Literatur

BERNERS-LEE, M., KENNELLY, C., WATSON, R., HEWITT, C.N. (2018). Current global food production is sufficient to meet human nutritional needs in 2050 provided there is radical societal adaptation. *Elem Sci Anth*, 6: 52. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.310>

CHAPPELL, M.J. (2018). *Beginning to end hunger: food and the environment in Belo Horizonte, Brazil, and beyond*. Oakland, USA, University of California Press.

D'ANNOLFO, R., GEMMILL-HERREN, B., GRAEUB, B., GARIBALDI, L.A. (2017). A review of social and economic performance of agroecology, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15:6, 632-644.

EUROPEAN COMMISSION (2018). Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2012–2015. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-31230-rapport-pollution-nitrates-commission-europeenne.pdf>

ENVIRONMENT AGENCY (2018). European waters. Assessment of status and pressures 2018. <https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water/#tab-news-and-articles>

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2017). The 2015 European Union report on pesticide residues in food. <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-28813-efsa-rapport-2015-residus-pesticides-aliments.pdf>

FAO 2017. The future of food and agriculture. Trends and challenges. Rome. <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

HLPE (2014). Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome. <http://www.fao.org/3/a-i3901e.pdf>

HLPE (2017). Nutrition and food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome. <http://www.fao.org/3/a-i7846e.pdf>

HLPE (2019). Agroecological approaches and other innovations for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. Committee on World Food Security, High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, FAO Rome. <http://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>

IPES-FOOD (2016). From university to diversity. A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems. http://www.ipes-food.org/images/Reports/UniformityToDiversity_FullReport.pdf

NATIONALE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN LEOPOLDINA, ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, UNION DER DEUTSCHEN AKADEMIEN DER WISSENSCHAFTEN (2020). Biodiversität und Management von Agrarlandschaften – Umfassendes Handeln ist jetzt wichtig. Halle (Saale), 76 S., <https://www.acatech.de/publikation/biodiversitaet-und-management-von-agrarlandschaften-umfassendes-handeln-ist-jetzt-wichtig/>

TISCHLER, W. (1965) Agrarökologie. Gustav Fischer Verlag, Jena, Deutschland, 499 S.

VAN DER PLOEG, J.D., BARJOLLE, D., BRUIL, J., BRUNORI, G., COSTA MADUREIRA, L.M., DESSEIN, J., DRAG, Z., FINK-KESSLER, A., GASSELIN, P., GONZALEZ DE MOLINA, M., GORLACH, K., JÜRGENS, K., KINSELLA, J., KIRWAN, J., KNICKEL, K., LUCAS, V., MARSDEN, T., MAYE, D., MIGLIORINI, P., MILONE, P., NOE, E., NOWAK, P., PARROTT, N., PEETERS, A., ROSSI, A., SCHERMER, M., VENTURA, F., VISSER, M., WEZEL, A. (2019). The economic potential of agroecology: Empirical evidence from Europe. *Journal of Rural Studies* 71: 46-61.

WEZEL, A. (2017). Agroecological practices for sustainable agriculture: principles, applications, and making the transition. World Scientific, New Jersey, USA, 485 p.

WEZEL, A., BELLON, S., DORÉ, T., FRANCIS, C., VALLOD, D., DAVID, C. (2009). Agroecology as a science, a movement or a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 503-515.

WEZEL, A., CASAGRANDE, M., CELETTE, F., VIAN, J.F., FERRER, A., PEIGNÉ, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34 (1): 1-20.

WEZEL, A., DAVID, C. (im Druck). Policies for agroecology in France: implementation in practice, research and education and limits of impact. *Landbauforschung – Journal of Sustainable and Organic Agricultural Systems*.

WEZEL, A., GOETTE, J., LAGNEAUX, E., PASSUELLO, G., REISMAN, E., RODIER, C., TURPIN, G. (2018). Agroecology in Europe: Research, education, collective action networks, and alternative food systems. *Sustainability* 10, 1214. doi:10.3390/su10041214

WEZEL, A., SOLDAT, V. (2009). A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline agroecology. *International Jo*

Ist 100% Ökologisierung der Landwirtschaft besser als 20% Ökolandbau?

Friedhelm Taube, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Ökolandbau oder ‚Ökolandbau und mehr‘?

Die aktuelle Debatte um die zukünftige Ausrichtung und Intensität der Landwirtschaft in Nordwesteuropa wird geprägt durch zwei unterschiedliche Schulen. Auf der einen Seite stehen die Vertreter*innen der nachhaltigen Intensivierung (Sustainable Intensification – SI), die Intensivierung gleichsetzen mit einer Intensivierung für Ertragssteigerungen. Dies folgt dem Paradigma aus den 1980er und 1990er Jahren, wonach die westeuropäischen Länder einen erheblichen und weiter steigenden Beitrag zur Sicherung der Welternährung erbringen müssen. Tatsächlich verkennt diese Position jedoch die Tatsache, dass auch in der rückwärtigen Betrachtung seit den 1960er Jahren die wesentlichen Ertragssteigerungen im globalen Maßstab in den Entwicklungsländern (grüne Revolution) stattgefunden haben. Dieses Verständnis der industrienahen europäischen Agrarforschung und der Agrarverbände von SI war so lange vergleichsweise unproblematisch, wie Umweltprobleme nicht in den zentralen Fokus der Debatte gerückt sind. Dies ist jedoch spätestens seit den 1990er Jahren der Fall. Kurzgefasst und vereinfacht ist daraus die zweite Schule entstanden, die zunächst auf den Ökologischen Landbau als Alternative zu hochintensiven Systemen ausgerichtet war. Inzwischen sehen wir jedoch, dass der Ökologische Landbau zwar im Bereich wesentlicher Ökosystemdienstleistungen jenseits der Produktion von Agrarrohstoffen überzeugen kann, jedoch eine erhebliche Ertragslücke zu konventionellen Intensitäten aufweist, die im oberen Bereich in Norddeutschen Ackerbauregionen durchaus Größenordnungen von 50 % betragen kann (Biernat et al. 2020). In der gesellschaftlichen Debatte fordern die Vertreter*innen dieser Schule dennoch eine Ausweitung des ökologischen Landbaus auch über das bereits gesetzte Ziel von 20 % an der landwirtschaftlichen Fläche hinaus. Diese Forderung kann auch als ein Versagen aller involvierten Akteure (inklusive der Wissenschaft) im Hinblick auf die Entwicklung von überzeugender Alternativen zum Ökolandbau wie zum konventionellen Landbau (marktfähige und gesellschaftlich anerkannte ‚Dritter Wege‘) in den letzten 20 Jahren gelesen werden (Taube, 2017).

Der Wissenschaftliche Beirat für Agrar- und Ernährungspolitik und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE, 2020) hat in seinem jüngsten Gutachten die Formel „Ökolandbau und mehr“ geprägt. Was ist darunter zu verstehen und wie kann ein solcher Ansatz bis hin zu einem Konzept „Hybrid-Landwirtschaft“ weiterentwickelt werden?

Klimawandel und Managementfehler konterkarieren das Produktionsnarrativ in Deutschland

Nach fünf Jahrzehnten linearer Ertragssteigerungen von 2-3% bei mehr oder weniger allen landwirtschaftlichen Kulturen nach dem 2. Weltkrieg durch technischen Fortschritt und eine entsprechende Umsetzung in der landwirtschaftlichen Stagnation nun seit fast 25 Jahren die Erträge der wesentlichen Ackerfrüchte (bis auf Zuckerrüben) auf hohem Niveau mit erheblichen Variationskoeffizienten von häufig über 10 % zwischen den Jahren. Lediglich bei den Zuckerrüben gelingt es, den bei allen Kulturen nach wie vor gut dokumentierten Zuchtfortschritt auch in die landwirtschaftliche Praxis umzusetzen. Das bedeutet, dass der „yield gap“, also die Ertragslücke zwischen möglichem Ertrag (Best-Practice-Bedingungen) und tatsächlich realisiertem Ertrag, die sich über Jahrzehnte auf ein Niveau von etwa 20 % verkleinerte, seit etwa 20 Jahren wieder größer wird. Als Ursachen sind drei zentrale Komponenten offensichtlich: 1. Managementfehler auf den Betrieben, verursacht durch zu enge Fruchtfolgen aufgrund hoher Spezialisierungsgrade und damit in Verbindung stehend 2. Probleme und Restriktionen (Zulassung; Ökotoxizität;...) beim Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel und schließlich 3. Klimawandeleffekte, die zunehmend auch Hohertragsstandorte im Norden betreffen. Ökonomisch bedeutet dies: Der hohe Einsatz an Produktionsmitteln, ausgerichtet auf Höchsterträge, wird zunehmend selten mit Höchstbeträgen belohnt. Es kann daraus die These abgeleitet werden: Das Paradigma der nachhaltigen Ertragssteigerung wird im Klimawandel zu teuer und ist durch das Paradigma der Ökologischen Intensivierung (Ecological Intensification -EI) abzulösen.

Warum „Ökologische Intensivierung“ als neues Paradigma?

Die Ertragsstagnationen mit erheblichen interannuellen Schwankungen bedeuten nichts anderes als zusätzliche Überschüsse an Nährstoffen. Konsequenterweise erfüllt Deutschland daher die normativ verankerten Umweltziele im Bereich Landwirtschaft in allen Bereichen seit 20 Jahren nicht. Da gleichzeitig auch die Ziele der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie diesbezüglich nicht umgesetzt

werden (z. B. nationaler Stickstoffbilanzsaldo von maximal + 80 kg N/ha bis zum Jahr 2010 nicht erreicht und nun neu +70 kg N/ha bis 2030 festgesetzt), ist von einem lang anhaltenden nachhaltigen Politikversagen zu sprechen. Mehr noch: Die derzeit nicht internalisierten gesellschaftlichen Kosten allein durch Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft belaufen sich auf eine Größenordnung von etwa 1000€/ha unter Zugrundelegung der Kostenschätzungen je kg N-Emission über verschiedene Verlustpfade nach Brink et al. (2011) einerseits und der u.a. von unserer Gruppe gemessenen Ausmaße der einzelnen Verlustpfade in Norddeutschland andererseits (Taubе, 2016). Diese Größenordnung der sozialisierten Umweltkosten ist nach jüngst veröffentlichten Studien (BCG, 2019) eher als konservativ anzusetzen. Würden diese Kosten internalisiert, wäre z.B. für Winterweizen von einem um etwa 30% reduzierten N-Optimum (~120 kg N/ha) im Vergleich zum ‚mikroökonomischen Optimum‘ in der Größenordnung von 180 kg N/ha auszugehen. Mit anderen Worten: Das, was heute in der §13-Nitratkulisse der aktuellen DüV niedergelegt ist, dürfte dem gesellschaftlichen Optimum sehr nahe kommen.

Tabelle 1: N-Verlustpfade aus den Überschüssen der Landwirtschaft in Deutschland unter den Klimabedingungen Norddeutschlands (verändert nach Taube (2016) und daraus abgeleitet die kalkulierten Umweltkosten je ha (* nach Brink et al., 2011)

	kg N/ha	
N-Überschuss	+100	€ per kg N:
N-Verluste Sickerwasser (NO ₃ ; NH ₄ ; DON)	-37	13 (5-24)
N-Verluste Ammoniak (NH ₃)	-30	14 (4-30)
N-Verluste Lachgas (N ₂ O) und NO _x	-8	11 (6-18)
N-Verluste Denitrifikation zu N ₂	-20	-
N- Sequestrierung Böden (netto)	-5	-
Summe gesellschaftliche Kosten:	0	989 €/ha* (353 -1932)

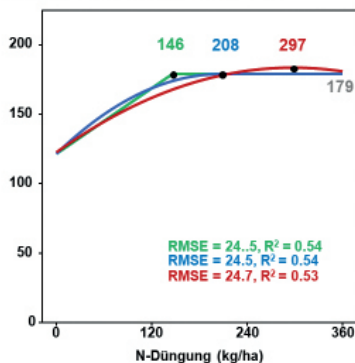
Angesichts der eindeutigen Evidenz über die sozialen Kosten dieser Umweltbelastung ist es in der Wissenschaft unstrittig, dass eine Transformation des Sektors Landwirtschaft im Sinne einer ökologischen Intensivierung (Ecological Intensification, z. B. Tittonell 2014) dringend geboten ist. Sämtliche wissenschaftlichen Beiräte der Bundesregierung drängen darauf. In der Konsequenz bedeutet das, dass neue ‚optimale Intensitäten‘ unter Berücksichtigung dieser bisher nicht internalisierten Umweltkosten abzuleiten sind, d.h. vergleichsweise hohe (nicht höchste) Ertragsniveaus weitgehend zu erhalten, den Ressourceneinsatz (z. B. Stickstoffdüngung) jedoch soweit zu reduzieren, bis der ökologische Fußabdruck der Produktion (ausgedrückt als ökologische Belastung je Ertragseinheit, z. B. Stickstoffüberschuss je Tonne Weizen) in einem günstigen Bereich zu

verorten ist. Im Einzelfall ist das theoretisch optimale Ergebnis bestimmt durch das Verhältnis des gesamtgesellschaftlichen Nutzens (Erlös je Tonne Weizen) zu den gesamtgesellschaftlichen Kosten (z. B Umweltbelastung durch reaktive Stickstoffverbindungen). In der Debatte um die gesellschaftliche Akzeptanz moderater Ertragsreduktionen wird seitens der landwirtschaftlichen Interessenverbände häufig mit ‚leakage Effekten‘ argumentiert, wonach es niemandem nütze, wenn durch ‚Extensivierung bei uns mehr importiert würde‘. Angesichts riesiger yield gaps in Subsahara-Afrika würde eine gewisse Intensivierung dort verbunden mit Exporten zu uns (und gewissen Ertragsreduktionen, aber erheblichen Gewinnen an Umweltqualität bei uns) in vielen Fällen eben doch Wohlfahrtsgewinnen der Volkswirtschaften auf beiden Seiten induzieren. Leakage-Effekte taugen insofern nicht als generelles Argument.

Ökologische Intensivierung und optimale N-Düngungsintensität – die Rolle der Wissenschaft

Auch wenn es auf den ersten Blick kaum wahrzunehmen ist, so hat doch die Novellierung des Düngegesetzes 2017 den Rahmen für die ökologische Intensivierung der Düngung neu justiert. Die bisherige Herleitung der Stickstoffdüngungsbedarfswerte der DüV beruht in Deutschland auch im Jahr 2020 weitgehend nicht auf einem wissenschaftlich nachvollziehbaren Procedere beruhend auf wissenschaftlichen Publikationen (wie es in anderen Ländern üblich ist), geschweige denn auf übergeordnet für Deutschland abgestimmten einheitlichen Versuchsansätzen (wie es in anderen Ländern Aufgabe z.B. der Ressortforschungsinstitute nach entsprechender Beauftragung durch die Landwirtschaftsministerien ist), die zitierfähig wären, sondern sie beruhen im Wesentlichen auf Erfahrungswerten, die im Austausch von wenig Wissenschaft, viel Beratung und letztlich politischen Akteuren hergeleitet werden. Ein Defizit, das auch von Härtel (2018) mit Bezug zur Klage der Kommission gegen Deutschland in Sachen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie juristisch deutlich gewürdigt wird. Diesen Erfahrungswerten liegen nach wie vor in aller Regel mehrjährige regionale N-Steigerungsversuche auf Gunststandorten (Gunststandorten in dem Sinne, dass in der Regel Standorte auf Versuchsstationen für Düngungsexperimente genutzt werden, die nicht die repräsentativ hohen Nährstoffüberschüsse der praktisch wirtschaftende Betriebe aus der Vergangenheit ausweisen und so tendenziell aufgrund geringerer Bodenstickstoffnachlieferung höhere Düngewirkungen anzeigen) in den jeweiligen Regionen zugrunde, die in aller Regel (wahrscheinlich in mehr als 95% der statistischen Analysen) aus einer Regressionsanalyse auf Basis quadratischer Funktionen mikro-ökonomisch optimale Intensitäten bei bestimmten Grenzerträgen ableiten.

Silomais in Selbstfolge TM-Ertrag (dt/ha)
Hohenschulen und Karkendamm 2007/2008



Winterweizen Körnertrag (dt/ha, 14% Feuchte)
Hohenschulen 2007 und 2008

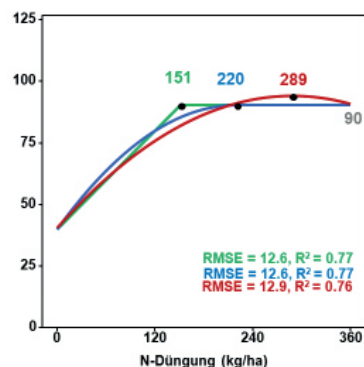


Abbildung 1: Schematische Darstellung unterschiedlicher Funktionen (hier: Linear-Plateau-Funktion (grün); Quadrat-Plateau-Funktion (blau) und quadratische Funktion (rot) zur Herleitung der optimalen N-Intensität bei Mais (links) und Winterweizen (rechts), eigene Darstellung verändert nach Herrmann *et al.* (2017)

Diese Vorgehensweise ist zunächst im Hinblick auf die Herleitung des mikro-ökonomischen Optimums fragwürdig, solange nicht dokumentiert ist, ob eine quadratische Funktion die beste statistische Näherung aufweist, insbesondere unter Berücksichtigung der jeweiligen Schätzfehler. Als Beispieldatensatz für die Effekte einer unterschiedlichen Funktionswahl können die in der Abbildung 1 dargestellten Response-Funktionen für Silomais und Winterweizen herangezogen werden, wobei jeweils 50-70 kg N/ha niedrigere N-Düngemengen zur Erreichung des maximalen Ertragsniveaus mit der Linear-Plateau-Funktion im Vergleich zum nächst liegenden Schätzmodell realisiert werden. Wie in vielen anderen Vergleichsstudien weisen quadratische Schätzfunktionen den bei weitem höchsten N-Einsatz für den maximalen Ertrag auf. Es macht also einen erheblichen Unterschied, von welchem Maximalertrag ausgehend das Kosten-Nutzen-Verhältnis zur Herleitung des mikro-ökonomischen Optimums in Ansatz gebracht wird. Zu ähnlichen Ergebnissen, auch unter Berücksichtigung des ökonomischen Optimums kommen Henke *et al.* (2006) für die Herleitung optimaler N-Intensitäten in einer Raps- Winterweizen-Wintergerste-Fruchtfolge. Dort zeigen die Ergebnisse eines siebenjährigen N-Steigerungsversuches bei der gebotenen ex post-Analyse, bei nahezu identischen Optimal- bzw. Maximalerträgen für alle geprüften mathematischen Modelle, mit der Linear-Plateaufunktion im Vergleich zur quadratischen Funktion (derzeitigen Standard in der Beratung) für alle drei Kulturen gleich gerichtet und in Summe für die gesamte Fruchtfolgefolge diese Werte: Die optimale N-Düngung für den monetären Höchstertrag entspricht auf

Basis Linear-Plateau-Funktion im Vergleich zum quadratischen Ansatz minus 46 kg N/ha (109 statt 155) – also minus 30% (!) bei gleichem Schätzfehler der Funktion und 3 dt/ha niedrigerem Ernteertrag (75 statt 78), jedoch identischem monetären Ertrag (613 zu 608€/ha), vor allem aber einem um 40 kg/ha niedrigeren N-Überschuss (+8 kg/ha statt + 48 kg N/ha). Ein N-Saldo der Fruchtfolge von +8 kg N/ha nach vier Jahrzehnten moderater bis hoher N-Überschüsse und damit implizit hoher Bodenfruchtbarkeit (und zusätzlichen N-Depositionswerten aus der Luft in der Größenordnung von 10 kg N/ha) entspricht einer optimalen Größenordnung, wohingegen +48 kg N/ha im Durchschnitt der Fruchtfolge zu N-Konzentrationen im Sickerwasser von deutlich über 50 ppm führen und daher nicht der guten fachliche Praxis der Düngung im Sinne des § 1, Absatz 4 des Düngegesetzes entsprechen.

Das novellierte Düngegesetz mit der seit 2017 erweiterten Zweckbestimmung im §1, Absatz 4, wonach *„N-Verluste in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden sind“* setzt somit einen neuen normativen Anspruch an die Herleitung der optimalen N-Intensität. Dies ist in den Nutzpflanzenwissenschaften entsprechend zu diskutieren und als neuer Standard z.B. durch VDLUFA verbindlich zu verankern. Dass Linear-Plateau-Funktionen niedrigere N-Düngungsoptima bei gleichen oder ähnlichen Erträgen und ähnlichen statistischen Kenngrößen für Ackerfrüchte schätzen, ist nicht neu: Bereits 1994 empfahl Bäume (bezeichnenderweise im Lehrbuch ‚Integrierter Landbau‘) beim Vergleich von quadratischen und Linear-Plateau-Funktionen als Basis für die Düngeberatung die letztere, weil sie *„in jedem Fall eine Überdüngung vermeidet“*. Auch in seinem Beispieldatensatz lag das Düngungsoptimum etwa 40 kg N/ha niedriger als mit der Polynomapproximation und schließlich ermitteln auch Sieling *et al.* (2015) für Winterweizen nach Raps oder Ackerbohnen jeweils ein um 50 kg N/ha niedrigeres N-Düngungsoptimum abgeleitet aus der Linear-Plateau-Funktion. Wie in der Abbildung 1 gezeigt erzielten auch Herrmann *et al.*, (2017) die beste Modellanpassung im Sinne §1 DG mit Linear-Plateau-Funktionen.

Ansichts dieser Zusammenhänge erscheinen folgende methodischen Vorgehensweisen zur Ermittlung der optimalen N-Intensität abgeleitet aus Produktionsfunktionen geboten:

1. Für die Herleitung der optimalen N-Intensität von Kulturpflanzen in einer Fruchtfolge sind verschiedene Funktionstypen zu prüfen und es ist ex post diejenige Funktion für die Herleitung des ökonomischen Optimums zu wählen und zu dokumentieren, die bei ähnlicher statistischer Güte den minimalen N-Überschuss und den niedrigsten N-Düngereinsatz für den mikro-ökonomischen Maximalertrag ausweist.

2. Die statistisch relevanten Kenngrößen für den ‚mittleren Effekt‘ sind für alle Zielparameter zu dokumentieren (Signifikanzniveau, Bestimmtheitsmaß, Schätzfehler,...)
3. Es ist zu gewährleisten, dass jeweils die gemessenen Parzellenerträge und N-Konzentrationen im Erntegut verwendet werden. Die häufig beobachtete Praxis, wonach ein ‚yield gap‘ zu Praxiserträgen in Höhe von 10 oder 15 oder mehr Prozentpunkten eingebaut wird, um Praxiserträge zu simulieren, ist nicht korrekt, weil damit die Beziehung zwischen gemessenem Ertrag und gemessener N-Konzentration manipuliert wird.
4. Schließlich ist zur Herleitung des ‚ökonomischen Optimums‘ sicherzustellen, dass bei sinkendem N-Angebot (unterhalb des ‚ökonomischen Optimums‘) nicht die gleichen Kosten z.B. für chemischen Pflanzenschutz unterstellt werden wie bei höchstem Angebot, da davon auszugehen ist, dass die Kosten für den Einsatz von Betriebsmitteln wie zum Beispiel Wachstumsreglern oder Fungiziden mit reduziertem N-Einsatz ebenfalls sinken.

Vom Produktions- zum Resilienz-Narrativ: Integrierte Produktionssysteme

Der WBAE hat in seinem jüngst publizierten Ernährungsgutachten (WBAE 2020) politische Instrumente aufgezeigt, um die Transformation des Agrar- und Ernährungssektors in Richtung einer ökologischen Intensivierung zu befördern. Für den Agrarbereich spielt dabei die Erfassung und Dokumentation des ökologischen Fußabdrucks, beginnend mit dem „Carbon Footprint“ (für die Funktion Klimaschutz), eine zentrale Rolle, um die bisher sozialisierten Kosten (Umwelt, Gesundheit) der Nahrungsmittelerzeugung den Verursachern bzw. den Preisen zuzuordnen. Perspektivisch ist der CO₂-Zertifikatehandel bzw. die CO₂-Steuer das Instrument, welches diese Kosten näherungsweise und doch akzeptabel ausweisen kann, daneben für die Funktion des Gewässer- und Biodiversitätsschutzes der Stickstoff-Fußabdruck. Damit kommt die mikro-ökonomisch getriebene Spezialisierung der letzten Jahrzehnte auf den Prüfstand. Einerseits verursacht die spezialisierte Tierhaltung und die damit gekoppelte Bodennutzung in den räumlichen Zentren der Tierhaltung die höchsten Umweltkosten, andererseits ist aber auch der spezialisierte Ackerbau – wie oben gezeigt, deutlich an Grenzen gestoßen. Die derzeit intensiv diskutierte Erweiterung der Fruchtfolgen im spezialisierten Ackerbau (insbesondere Norddeutschlands) um eine Körnerleguminose (Bohnen, Erbsen) oder Zwischenfrüchte wird nicht ausreichen, um eine ausreichende Resilienz der Anbausysteme zu gewährleisten, dazu sind die Risiken, mit

solchen Leguminosen auch zusätzliche Nitratproblem zu induzieren, zu groß (vgl. Sieling et al., 2015; Böldt et al., 2020). Vielmehr erscheint, wo immer möglich, die Erweiterung der Fruchtfolgen in Marktfruchtbetrieben auch um Futterpflanzen eine Option, die letztlich in ‚virtuellen Gemischtbetrieben‘ mündet, d.h. in der Arbeitsorganisation spezialisierte Betriebe des Marktfrucht- und des Milchvieh/Futterbaus organisieren gemeinsame weite Fruchtfolgen mit Kulturarten hoher funktionaler Diversität auf ihren Äckern. Bei einer entsprechenden Ausrichtung des Sektors auf die primäre Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks bei hohem Ertragsniveau gewinnen nun Futterleguminosen im Futterbau für die Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft an Gewicht, deren funktionale Merkmale bezüglich Klimaschutz (Bodenkohlenstoff-Sequestrierung), Stickstoff-Fixierung (Reduktion THG-Emissionen) und Biodiversität (Vielartengemeinde) Vorteile gegenüber aktuellen Produktionsverfahren aufweisen. Besonders ausgeprägt stellt sich die notwendige Transformation der Flächennutzung für den Bereich Milcherzeugung in Deutschland dar, denn ein erheblicher Anteil der Milcherzeugung findet auf Moorstandorten statt und ist entsprechend mit hohen Treibhausgasemissionen bei der Futterproduktion belastet, die wiederum den Carbon Footprint der Milch belasten. Während diese Transformation im Osten Deutschlands bereits seit der Wiedervereinigung Gestalt annimmt (Paludi-Kulturen etc.), sind die Moorflächen im Westen weitgehend durch intensive Milchviehhaltung geprägt. Mittelfristig bedeutet das, dass eine Transformation von sehr konservativ geschätzt 400-500.000 ha Moorflächen hin zu höheren Wasserständen und natur- und klimaschutzrelevanter Nutzung ansteht. Die Konsequenz wäre ohne Anpassungsstrategien die Reduktion der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung aus einer international konkurrenzfähigen Milcherzeugung. Wie könnten solche Anpassungsstrategien im Rahmen einer ‚ökologischen Intensivierung‘ aussehen? „Weniger und besser“ (WBAE, 2020) Milch erzeugen, bedeutet in diesem Zusammenhang aber nicht, dass die verminderte Milcherzeugung auf Moorflächen nicht durch eine ökoeffiziente Ausdehnung andernorts zumindest teilweise kompensiert werden könnte. Vielmehr erscheint die Problematik „Moor“ als Blaupause für grundsätzliche Lösungsansätze zur flächengebundenen Tierhaltung insgesamt zurückzukehren und zur Re-Integration von Ackerbau und Viehzucht.

Ökologische Intensivierung über Hybridlandwirtschaft und Gemeinwohlprämie umsetzen?

Die oben aufgezeigte Ertragsstagnation bei fast allen Ackerkulturen ist wesentlich darauf zurückzuführen, dass durch zu wenige Kulturen zu wenig funktionale Diversität auf unseren Äckern herrscht. ‚Fruchtfolgen‘ aus Raps und Getreide hier und Mais in langjähriger Selbstfolge dort – die historisch gewachsene

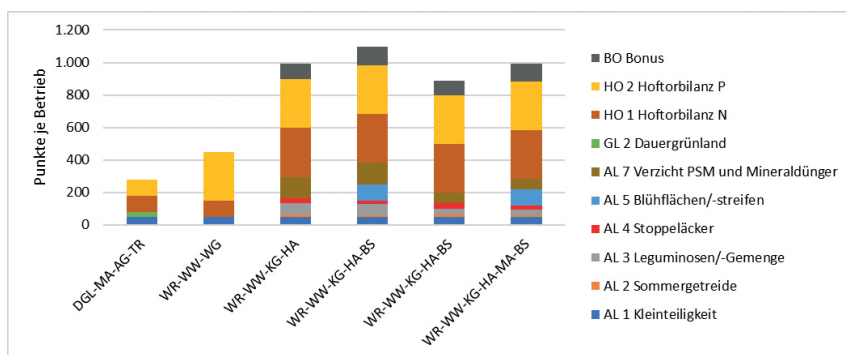
Funktion von Fruchtfolgen, Lebens- und Futtermittel öko-effizient, d. h. auch über die Einbeziehung von Selbstregulationsmechanismen zu erzeugen, sind ausgeschaltet und stattdessen durch externe Energiezufuhr (Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Digitalisierung) ersetzt. Eine Rückbesinnung auf den Nutzen integrierter Systeme von Ackerbau und Tierhaltung und entsprechend weiter Fruchtfolgen mit hoher Kulturarten-Diversität und daraus resultierender funktionaler Diversität erscheint heute mehr denn je geboten. Was fehlt heute im Ackerbau an funktionaler Diversität? Es fehlen die Kombination aus annuellen und perennierenden Kulturen (Funktion C-Sequestrierung und Unkrautunterdrückung), die Einbeziehung von Arten mit höchster Wurzellängendichte (Wasserschutz) und die Einbeziehung von leistungsfähigen Leguminosen (N-Fixierung) für die heimische Proteinversorgung. Umfassend werden diese Ansprüche nur von mindestens zweijährigen Kleeagrassystemen („Ley-systems“) erfüllt, wie u. a. aktuelle Untersuchungen aus unserem Hause bestätigen. Trockenmasseerträge ohne jegliche mineralische N-Düngung von 10 t/ha/a bei höchsten Energie- und Rohproteingehalten, Stickstofffixierungsleistungen von bis zu 300 kg N/ha/a, umfassende Unterdrückung invasiver Arten durch häufige Nutzung, zu vernachlässigende Nitratausträge über den Pfad Sickerwasser (<10 kg N/ha) bedingt durch Wurzellängendichten von über 100 km/m²/a (Loges et al. 2020), Bereitstellung von Nahrungshabitaten für Blüten besuchende Insekten durch Vielartengemeinde (Lorenz et al. 2020), keinerlei notwendiger Einsatz von Pestiziden – kurzum: Alles, was derzeit in unseren Agrarlandschaften fehlt, kann weitestgehend durch solche Ley-Systeme mit gewissen zusätzlichen Elementen (Blühstreifen etc.) bereitgestellt werden – sie sind der Trigger hin zu resilienten Agrarsystemen in Verbindung mit der Milcherzeugung, insbesondere in maritimen Klimaten. Werden diese Klee-Kräuter-Gras-Bestände zusätzlich beweidet, sinkt der ökologische Fußabdruck – aufgrund des verringerten Energiebedarfs und der nochmals erhöhten Energiedichte im Futter auf Konzentratfutter-Niveau (>7,2 MJ NEL/kg TM) – weiter deutlich ab, sowohl den Stickstoff- als auch den CO₂-Fußabdruck betreffend (Reinsch et al., submitted). Wir haben diese Arbeiten zur „öko-effizienten Weidemilcherzeugung“ unter den Rahmenbedingungen des Ökologischen Landbaus durchgeführt (www.lindhof.uni-kiel.de) und zeigen, dass die Milch-Leistungen in ECM/ha Hauptfutterfläche über 80 % der Leistungen der Top-10 % der konventionellen Spitzenbetriebe erreichen, in jedem Fall aber deutlich über dem Durchschnitt konventioneller Vergleichsbetriebe in Norddeutschland liegen – ökologische Intensivierung in der Milcherzeugung ist bei weiter sehr hohem Ertragsniveau und geringsten Umweltkosten somit möglich. Warum dennoch „öko und mehr“?

Das Dilemma im Hinblick auf die Stabilisierung der Ertragsleistungen auf hohem Niveau beginnt bei den Folgefrüchten zu Klee gras, also der Verbindung

zwischen Futterbau und Marktfruchtbau unter den Rahmenbedingungen des Ökolandbaus. Nach Klee gras muss in Regionen mit deutlich mehr als 100 mm Sickerwassermenge pro Jahr eine Sommerkultur folgen, um die Stickstoffresiduen aus Stoppeln und Wurzeln der Ley-Bestände direkt in die Ertragsbildung der Folgefrucht einfließen zu lassen und N-Verluste über das Sickerwasser im dann folgenden Winterhalbjahr auszuschließen. Das sorgt in der ersten Folgefrucht nach Klee gras aufgrund des N-Transfers von über 120 kg N/ha für immer noch hohe Natural-Erträge bei z. B. Hafer (ohne Zusatzdüngung und Pflanzenschutz) von ca. 6 t/ha, unter Berücksichtigung des zu vernachlässigenden Betriebsmitteleinsatzes sogar zu sehr hohen monetären Erträgen. Aber die dann folgenden klassischen Marktfrüchte Winterweizen oder Raps verursachen unter dem limitierten Betriebsmitteleinsatz im Ökologischen Landbau einen yield gap von bis zu über 50 % (Biernat et al. 2020), der eine Ausdehnung des Ökolandbaus über ein gewisses Maß hinaus auch im Sinne der ökologischen Intensivierung dann in Frage stellt, wenn der ökologische Fußabdruck (CO₂eq; Stickstoff) je Getreideeinheit durch diese geringe Flächennutzungseffizienz den optimierter konventioneller Intensitäten übersteigt. Es bietet sich vor dem Hintergrund dieser sehr unterschiedlichen Effekte reduzierter Intensitäten im Futterbau und im Marktfruchtbau somit eine ökologische Intensivierung in dem Sinne an, dass über die Verknüpfung ökologischer und konventioneller Elemente hohe Ertrags- und Umweltleistungen gleichermaßen sicherstellt – ein Hybridansatz der folgendermaßen konzipiert sein könnte: Eine 6-gliedrige Fruchtfolge bestehend aus jeweils 50 % Anbaufläche nach Ökolandbaustandards (z. B. 2 x Klee gras + Hafer/Mais) und 50 % nach konventionellen Standards (Winterweizen, -raps, -weizen) würde bei zusätzlicher Integration von z. B. 10-15 % spezieller „Biodiversitätsflächen“ (Hötter et al. 2018) unter den Bedingungen Norddeutschlands einen Großteil dessen gewährleisten, was derzeit auf der politischen Ebene im Raum steht (EU-Green Deal; EU-F2F; nationales Insektenschutzprogramm etc.). In Summe dürften die Ertragseinbußen im ersten Teil der Fruchtfolge durch fruchtfolgebedingte Mehrerträge der Marktfrüchte im zweiten Teil der Fruchtfolge nahezu kompensiert werden. Hier besteht Forschungsbedarf und an der Bereitstellung entsprechenden Zahlen zu Hybridansätzen arbeiten wir.

Die Relevanz dieses Ansatzes ergibt sich im Norden schon allein deshalb, weil die Wertschöpfung der Milcherzeugung, die perspektivisch die Moore verlassen muss, im Lande bleiben sollte, solange eine ökoefiziente Erzeugung gewahrt wird. Die Argumentationslinie lautet somit: mit Futterbau und Milcherzeugung die Defizite des spezialisierten Ackerbaus heilen. Virtuelle Gemischtbetriebe wären ein Ansatz zur Umsetzung, wobei jeweils benachbarte Marktfrucht- und Futterbaubetriebe Hybridansätze mit gemeinsamen Fruchtfolgen umsetzen würden. Wenn eine solche Transformation gelingen soll, dann stellt sich die zentrale Fra-

ge, wie für die Akteure auf den landwirtschaftlichen Betrieben Anreize geschaffen werden können, in diese Richtung mitzugehen? Hier bietet sich der Einsatz des Gemeinwohlprämienmodells des Deutschen Verbandes für Landschaftspflege an (DVL 2020). Dieses Instrument bewertet zunächst „best practise“ der Umsetzung guter fachlicher Praxis mit hohen Umweltstandards in der Landwirtschaft (z. B. optimale N-, P-Hoftorsalden, vgl. Neumann et al., 2017) und den zusätzlichen Nutzen verschiedenster Elemente der landwirtschaftlichen Produktion und entsprechender Zusatzleistungen über ein Punktemodell für Ökosystemdienstleistungen jenseits der agrarischen Produktion. Wird dieses Expertenmodell für die Umsetzung des Hybridmodells angewandt, so ergeben sich für einen 100 ha Modellbetrieb größenordnungsmäßig die in Abbildung 2 (vgl. Taube, 2020) dargestellten Effekte.



Quelle: Abkürzungen in der Legende sowie Berechnungen nach DVL 2020

Abbildung 2: Gemeinwohlprämien-Punkte von 100 ha-Modellbetrieben für die Ist-Situation typischer spezialisierter Betriebe im Futter- bzw. Marktfruchtbau (Säulen 1+2) sowie für verschiedene Hybrid-Optionen (Säulen 3-6). Die Abkürzungen auf der X-Achse geben die unterschiedlichen Nutzungen der LF (nicht die Fruchtfolgen) der Modellbetriebe an (DGL: Dauergrünland, MA: Mais, AG: Ackergras, TR: Triticale, WR: Winterraps, WW: Winterweizen, KG: Klee gras, HA: Hafer, BS: Blühstreifen; weitere Erläuterungen s. Text)

Ausgehend von einem jeweils spezialisierten Betrieb Futterbau (Säule 1: DGL, hohe Anteile MA, geringe Anteile Getreide) (Erläuterung der Abkürzungen s. Abb. 2) und Marktfruchtbau (Säule 2: WR, WW, WW) ergeben sich durch verschiedene Hybridoptionen (Säule 3: konventionell: WR, WW, WW, ökologisch: KG, KG, HA; Säule 4 + 5: zusätzlich zu HA 10 % BS; Säule 6: statt eines WW anteilig MA) zusätzliche Gemeinwohlprämien-Punkte. Das Ergebnis weist für die Hybridoptionen der 100 ha im Vergleich zu den spezialisierten Ist-Ausgangsopti-

onen einen zusätzlichen quantifizierbaren Nutzen in Höhe von 700 Bewertungspunkten aus (also 1.000 statt 300). Derzeit wird in den politischen Diskursen zur Implementierung des DVL-Punktemodells in die Eco-Schemes der GAP nach dem Jahr 2020 eine Größenordnung der Honorierung von 30-50 € je Punkt diskutiert, das entspräche in den Modellbetriebsberechnungen einem Zusatznutzen von 210-350 €/ha für die Hybridansätze. Angesichts der Dringlichkeit der Erreichung der Klimaschutz- und Biodiversitätsziele spricht vieles dafür, Hybridansätze jenseits der bestehenden Extensivierungsprojekte in den verschiedenen Regionen Deutschlands zu entwickeln und zu optimieren.

Fazit

Die im Titel gestellte Frage ‚100 Prozent Ökologisierung der Landwirtschaft oder 20% Ökolandbau?‘ kann mit dem Austausch eines Wortes beantwortet werden: 100% Ökologisierung der Landwirtschaft UND 20% Ökologischer Landbau! Das derzeit nicht absehbar ist, dass die skizzierten Hybridmodelle vergleichsweise schnell in die Praxis transformiert werden und gleichzeitig der Handlungsdruck zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der vielfältigen Ökosystemdienstleistungen in Agrarlandschaften weiter ansteigt, erscheint die weitere Ausdehnung des ökologischen Landbaus zumindest hin zu einer Größenordnung von 20% notwendig und auch deshalb geboten, weil damit ein wissenschaftlich anerkannter Standard im Sinne der Bereitstellung der als notwendig erachteten Erbringung von Ökosystemdienstleistungen gewährleistet ist. Ungeachtet dessen wird die Weiterentwicklung von ‚dritten Wegen‘ oder Hybridansätzen, die die Lücke zwischen aktuellen Intensitäten des konventionellen und ökologischen Landbaus überzeugend füllen, notwendig sein, um die zunehmenden Herausforderungen des Klimawandels, des Biodiversitätsverlustes und der Eutrophierung der Gewässer überzeugend einer Lösung zuzuführen ohne zu viel an Produktionsleistung zu verlieren.

Prof. Dr. Friedhelm Taube, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Special Professor in Grass based Dairy Systems, Wageningen University and Research (WUR), The Netherlands, ftaube@gfo.uni-kiel.de, www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de

Literatur

BCG 2019 - Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft sichern – Denkanstöße und Szenarien für ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit <https://www.bcg.com/de-de/perspectives/234159>

BIERNAT, L., TAUBE, F., VOGELER, I., REINSCH, T., KLUSS, C., LOGES, R., 2020. Is organic agriculture in line with the EU-Nitrate directive? On-farm nitrate leaching from organic and conventional arable crop rotations. *Agric Ecosyst Environ* 298. <https://doi.org/ggt6s6>

BÖLDT, M., TAUBE, F., VOGELER, I., REINSCH, T., KLUSS, C., LOGES, R., 2021. Evaluating Different Catch Crop Strategies for Closing the Nitrogen Cycle in Cropping Systems—Field Experiments and Modelling. *Sustainability* 13, 394. <https://doi.org/ghtpnh>

BRINK, C., VAN GRINSVEN, H., JACOBSEN, B.H., RABL, A., GREN, I.-M., HOLLAND, M., KLIMONT, Z., HICKS, K., BROUWER, R., DICKENS, R., WILLEMS, J., TERMANSEN, M., VELTHOF, G., ALKEMADE, R., VAN OORSCHOT, M., WEBB, J., 2011. Costs and benefits of nitrogen in the environment, in: Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H., Grizzetti, B. (Eds.), *The European Nitrogen Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 513–540. <https://doi.org/bh59rj>

DVL 2020. Gemeinwohlprämie. Ein Konzept zur effektiven Honorierung landwirtschaftlicher Umwelt- und Klimaschutzleistungen innerhalb der Öko-Regelungen in der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik (GAP) nach 2020, Nr. 28 der DVL-Schriftenreihe „Landschaft als Lebensraum“. https://www.dvl.org/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DVL-Publikation-Schriftenreihe-28_Gemeinwohlprämie.pdf

DüV 2017. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305) https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl117s1305.pdf

DüV 2020. Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl120s0846.pdf

HÄRTEL, I 2018. Das EuGH-Urteil vom 21. Juni 2018 zum Verstoß gegen die EU-Nitratrichtlinie durch die Bundesrepublik Deutschland: seine Relevanz für

die Richtlinienkonformität des neuen Düngerechts. Rechtsgutachten erstellt im Auftrag des VKU Verbands Kommunaler Unternehmen e.V., Berlin. <https://www.vku.de/presse/pressemitteilungen/vku-zur-angekuendigten-erneuten-novelle-der-duengeverordnung/>

HENKE, J., BREUSTEDT, G., SIELING, K., KAGE, H., 2007. Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *J. Agric. Sci.* 145, 455–468. <https://doi.org/dtrpxg>

HERRMANN, A., KAGE, H., TAUBE, F., SIELING, K., 2017. Effect of biogas digestate, animal manure and mineral fertilizer application on nitrogen flows in biogas feedstock production. *Eur J Agron* 91, 63–73. <https://doi.org/gcj6rp>

HÖTKER, H., BRÜHL, C., BUHK, C., OPPERMAN, R. 2018. Biodiversitätsflächen zur Minderung der Umweltauswirkungen von Pflanzenschutzmitteln. Anforderungen an Kompensationsmaßnahmen im Risikomanagement. UBA53, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/biodiversitaetsflaechen-zur-minderung-der>

LOGES, R., MUES, S., KLUSS, C., MALISCH, C., LOZA, C., POYDA, A., REINSCH, T., TAUBE, F., 2020. Dairy cows back to arable regions? Grazing leys for eco-efficient milk production systems. *Grassland Science in Europe* 25, 400-402.

NEUMANN, V.H., DIERKING, U., TAUBE, F., 2017. Erprobung und Evaluierung eines neuen Verfahrens für die Bewertung und finanzielle Honorierung der Biodiversitäts-, Klima- und Wasserschutzleistungen landwirtschaftlicher Betriebe („Gemeinwohlprämie“) 38. <https://doi.org/gg5swt>

REINSCH, T., LOZA, C., VOGELER, I., KLUSS, C., LOGES, R., TAUBE, F., (submitted). Ecological intensification in dairy production: towards specialised or integrated systems in northwest Europe?

SIELING K., SAUERMAN, W., KAGE, H. 2015. Vergleich der Vorfruchtwirkung von Ackerbohnen und Winterraps auf die Entwicklung und Ertragsleistung von Winterweizen unter besonderer Berücksichtigung der N-Nachlieferung der Ackerbohnen. Abschlussbericht für die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V. https://www.ufop.de/files/1615/1012/6157/RZ_UFOP_1309_Abschlussbericht_Ackerbohne.pdf

TAUBE, F., 2016. Umwelt- und Klimawirkungen der Landwirtschaft. Eine kritische Einordnung – Statusbericht, Herausforderungen und Ausblick. In: Mo-

derne Landwirtschaft zwischen Anspruch und Wirklichkeit. DLG-Verlag https://www.gfo.uni-kiel.de/de/aktuelles/Taube_Umweltwirkungen_Statusbericht_final_WiTa16_03.pdf

TAUBE, F., 2017. Besser 100 % Ökologisierung der Landwirtschaft als 20 % Ökolandbau? Festvortrag anlässlich der Verabschiedung von Prof. Dr. Ulrich Köpke. Instituts für Organischen Landbau (IOL), Universität Bonn <https://www.iol.uni-bonn.de/besser-100-festvortrag-koepke-08092017-bonn-final-1.pdf>

TAUBE, F., BACH, BREUER L, EWERT F., FOHRER N., LEINWEBER P., MÜLLER T., WIGGERING H. 2020 Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung: Stickstoff- und Phosphor-Überschüsse nachhaltig begrenzen Fachliche Stellungnahme zur Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung. Umweltbundesamt <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/novellierung-der-stoffstrombilanzverordnung>

TITTONELL, P., KLERKX, L., BAUDRON, F., FÉLIX, G.F., RUGGIA, A., VAN APELDOORN, D., DOGLIOTTI, S., MAPFUMO, P., ROSSING, W.A.H., 2016. Ecological Intensification: Local Innovation to Address Global Challenges, in: Lichtfouse, E. (Ed.), Sustainable Agriculture Reviews, Sustainable Agriculture Reviews. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–34. <https://doi.org/fsxh>

WBAE 2020. Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz (WBAE) beim BMEL. Berichte über Landwirtschaft

Strategies to enhance ecosystem services in agricultural landscapes

Emily A. Poppenborg Martin, Leibniz Universität Hannover

Introduction

Biodiversity, particularly the biodiversity of arthropods including insects and spiders, plays a key role in the provision of ecosystem services to crops, such as pollination, natural pest control, nutrient cycling and improvement of soil fertility. For example, ca. 70% of crops depend on animal pollination to produce high yields (Klein et al., 2007), while an estimated 50-90% of pest control is provided by the natural enemies of pests such as arthropod predators and parasitoids (Pimentel, 2005). These ecosystem services account for billions of dollars each year in yield or avoided crop losses to pests, and are essential components of stable and sustainable yields (Gallai et al., 2009; Oerke, 2006).

The challenge and question of current agriculture is: can we leverage the biodiversity of agricultural landscapes, in order to ensure resilient provision of such services – and thereby support crop production by a modern, ecologically-driven agriculture? The development of strategies that leverage the biodiversity of agricultural landscapes to provide ecosystem services to crops is a key aspect of the ecological intensification of agriculture (Bommarco et al., 2013; Kleijn et al., 2019). Here, I review the benefits of such strategies for improvement of biodiversity and associated services, focussing particularly on above-ground biodiversity. These strategies are developed i) at the field or farm level, ii) at the level of whole agricultural landscapes.

I. Strategies at the level of fields and farms

Strategies to enhance biodiversity and ecosystem services at the field or farm level are strategies carried by individual farmers on or near their fields. They include a broad range of measures such as the planting of flower strips, beetle banks, hedgerows, flower-rich fields, field trees, biodiversity-friendly management of ditches and field margins outside the crop itself; as well as farming practices within the fields such as low- or no-till, cover crops, mixed cropping or

undersowing, diverse crop rotations, fallows, winter stubble, or organic farming. Together, these practices in or near fields represent diversification measures that influence biodiversity within fields, as well as the provision of one or more ecosystem services and yields (Figure 1). The ecosystem services they contribute to include provision of soil fertility, nutrient cycling, carbon storage, climate and water regulation, natural pest control, and pollination, in addition to biodiversity *per se* and crop yields.

In a recent study, Tamburini et al. (2020) reviewed the effectiveness of these strategies for supporting ecosystem services to crops. Synthesizing the results of 69 previous meta-analyses of over 5,000 studies and 41,000 control/treatment comparisons, Tamburini et al. find that diversification measures both within and outside crops have significantly positive effects on the provision of a wide range of ecosystem services. At the same time, diversification measures did not have an overall impact on crop yields – suggesting that these measures are applicable without compromising the productivity of crops.



Figure 1. Top: annual flower strip contributing to diversity and pest control in a wheat field (Photo courtesy of M. Tschumi). Bottom: tilled field (left) vs. area under conservation tillage (right; Photo credit <https://precisionagriculture.re/>).

Moreover, while tradeoffs were found between the provision of some ecosystem services and yields, in 63% of cases an increase in service provision was related to an increase in yields, highlighting frequent 'win-win' outcomes of on- and near-crop diversification strategies.

However, the effectiveness of such strategies is likely to be context- and ecosystem service-dependent. In a further synthesis using data from 35 studies in temperate regions, Albrecht et al. (2020) a comprehensive assessment of the effectiveness of different floral plantings, their characteristics and consequences for crop yield is lacking. Here we quantified the impacts of flower strips and hedgerows on pest control (18 studies find that implementing herbaceous flower strips next to fields increased natural pest control by up to 16%. In contrast, the impact of hedgerows was less pronounced, and results showed a variable response regarding the provision of pollination services. Perennial strips, and strips older than one year, enhanced pollination services most effectively compared to annual strips.

II. Strategies at the level of agricultural landscapes

Strategies at the level of agricultural landscapes are strategies that consider whole landscapes as the unit for their implementation. Characteristics of landscapes have been shown to drive the presence of biodiversity, and the provision and stability of ecosystem services in crops. For example, the amount of natural, non-crop habitats in landscapes surrounding crop fields is a key factor determining whether biodiversity can be maintained in and near the fields (e.g. Tschamntke et al., 2012). For this, landscapes can be defined as geographical areas within ca. 100 m to ca. 2-3 km radius or more around focal fields (Figures 2, 3). The presence of non-crop habitats, or of extensively managed areas in these landscapes, provide refuges and sources of food, nesting and other resources to organisms who are able to migrate in and out of the fields where they provide services.



Figure 2. Left: an agricultural landscape combining fields and non-crop habitats within a 100 m to 2-3 km distance around fields. Photo credit: A. Hartmann (CC BY-SA 2.0 link). Right: Strip cropping in Montana, USA. Photo credit: USDA NRCS Montana (Public Domain).

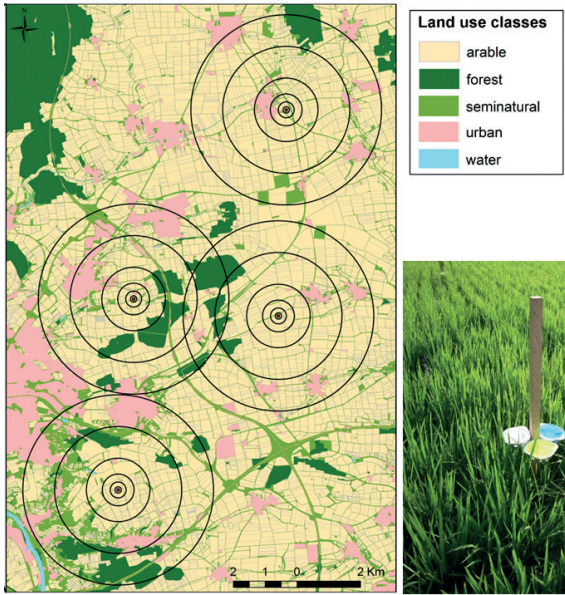


Figure 3. Left: map of an agricultural landscape including arable and non-crop land uses. Red dots are focal locations (e.g. fields) where biodiversity is assessed. The amount and spatial arrangement of habitats in surrounding landscapes at different scales (black circles) affect the presence and services provided by biodiversity within crops. Modified from Martin et al. (2019). Right: biodiversity can be sampled directly within crop fields, for example using pan traps to monitor flying insect diversity. Photo credit: E.A.P.M.

Not only the amount, but also the spatial arrangement of habitats and fields in the landscape affect the presence of biodiversity and the provision of ecosystem services to crops. Using data from 49 studies and over 1,500 European landscapes, Martin et al. (2019) show that patchy landscapes with a high density of edges among crops, and between crops and non-crop habitats, support many beneficial organisms and less pests without compromising yields per crop. This result points to the benefits of small fields, and practices such as strip cropping (Figure 2), whereby the density of field edges can be increased at the landscape scale by planting narrow rows of different or alternating crops on the same fields.

High biodiversity in agricultural fields, driven by ecologically diverse landscapes, is shown to directly benefit the provision of pollination and natural pest control to crops, in turn increasing yields (Dainese et al., 2019). Hereby, we can demonstrate the existence of a 'mutualism' or interdependence and mutual benefit between biodiversity and crop productivity (Seppelt et al., 2020). Thus, it is essential to take into account the benefits of biodiversity for agriculture when balancing the agro-economic tradeoffs of crop yield intensification.

Local field practices on individual farms such as strip cropping, mixed cropping, diverse rotations, low-till, planting flower strips and flower-rich fields, or maintaining hedgerows, ditches and beetle banks – if implemented across whole landscapes – are also the basis for enriching landscape-scale diversity, since the effects of these practices are likely to scale up to larger areas and contribute to overall high-biodiversity agricultural landscapes with strong provision of ecosystem services.

Conclusion

While several questions remain, current agroecological research has demonstrated that several strategies exist to effectively enhance ecosystem services in agricultural landscapes and crops. At the level of individual fields and farms, these strategies include extensive on- and off-field management practices, which may scale up to increase the diversity and ecosystem service provisioning of whole landscapes. At the level of agricultural landscapes, the presence of many non-crop habitats even if they are small, and the cultivation of smaller fields with many different crops, can enhance biodiversity and the provision of ecosystem services. Overall, strategies to diversify the agricultural landscape will benefit most from a collective management of ecosystem services and their supporting landscapes by farmers, land managers and other stakeholders.

References

- ALBRECHT, M., KLEIJN, D., WILLIAMS, N.M., TSCHUMI, M., BLAAUW, B.R., BOMMARCO, R., CAMPBELL, A.J., DAINESE, M., DRUMMOND, F.A., ENTLING, M.H., GANSER, D., GROOT, G.A. DE, GOULSON, D., GRAB, H., HAMILTON, H., HERZOG, F., ISAACS, R., JACOT, K., JEANNERET, P., JONSSON, M., KNOP, E., KREMEN, C., LANDIS, D.A., LOEB, G.M., MARINI, L., MCKERCHAR, M., MORANDIN, L., PFISTER, S.C., POTTS, S.G., RUNDLÖF, M., SARDIÑAS, H., SCILIGO, A., THIES, C., TSCHARNTKE, T., VENTURINI, E., VEROMANN, E., VOLLHARDT, I.M.G., WÄCKERS, F., WARD, K., WILBY, A., WOLTZ, M., WRATTEN, S., SUTTER, L., 2020. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecol. Lett.* 23, 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- BOMMARCO, R., KLEIJN, D., POTTS, S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol.* 28, 230–238.
- DAINESE, M., MARTIN, E.A., AIZEN, M.A., ALBRECHT, M., BARTOMEUS, I., BOMMARCO, R., CARVALHEIRO, L.G., CHAPLIN-KRAMER, R., GAGIC, V., GARIBALDI, L.A., 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Sci. Adv.* 5, eaax0121.
- GALLAI, N., SALLES, J.-M., SETTELE, J., VAISSIÈRE, B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68, 810–821.
- KLEIJN, D., BOMMARCO, R., FIJEN, T.P., GARIBALDI, L.A., POTTS, S.G., VAN DER PUTTEN, W.H., 2019. Ecological intensification: bridging the gap between science and practice. *Trends Ecol. Evol.* 34, 154–166.
- KLEIN, A.-M., VAISSIERE, B.E., CANE, J.H., STEFFAN-DEWENTER, I., CUNNINGHAM, S.A., KREMEN, C., TSCHARNTKE, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 274, 303–313.
- MARTIN, E.A., DAINESE, M., CLOUGH, Y., BÁLDI, A., BOMMARCO, R., GAGIC, V., GARRATT, M.P.D., HOLZSCHUH, A., KLEIJN, D., KOVÁCS-HOSTYÁNSZKI, A., MARINI, L., POTTS, S.G., SMITH, H.G., HASSAN, D.A., ALBRECHT, M., ANDERSSON, G.K.S., ASÍS, J.D., AVIRON, S., BALZAN, M.V., BAÑOS-PICÓN, L., BARTOMEUS, I., BATÁRY, P., BUREL, F., CABALLERO-LÓPEZ, B., CONCEPCIÓN, E.D., COUDRAIN, V., DÄNHARDT, J., DIAZ, M., DIEKÖTTER, T., DORMANN, C.F., DUFLLOT, R., ENTLING, M.H., FARWIG, N., FISCHER, C., FRANK, T., GARIBALDI, L.A., HERMANN, J., HERZOG, F., INCLÁN, D., JACOT, K., JAUKE, F., JEANNERET, P., KAISER, M., KRAUSS, J., FÉON, V.L., MARSHALL, J., MOONEN, A.-C., MORENO, G., RIEDINGER, V., RUNDLÖF, M., RUSCH, A., SCHEPER, J., SCHNEIDER, G., SCHÜEPP, C., STUTZ, S., SUTTER, L., TAMBURINI, G., THIES, C., TORMOS, J., TSCHARNTKE, T., TSCHUMI,

M., UZMAN, D., WAGNER, C., ZUBAIR-ANJUM, M., STEFFAN-DEWENTER, I., 2019. The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecol. Lett.* 22, 1083–1094. <https://doi.org/10.1111/ele.13265>

OERKE, E.-C., 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144, 31–43.

PIMENTEL, D., 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environ. Dev. Sustain.* 7, 229–252.

SEPPELT, R., ARNDT, C., BECKMANN, M., MARTIN, E.A., HERTEL, T.W., 2020. Deciphering the Biodiversity–Production Mutualism in the Global Food Security Debate. *Trends Ecol. Evol.*

TAMBURINI, G., BOMMARCO, R., WANGER, T.C., KREMEN, C., VAN DER HEIJDEN, M.G., LIEBMAN, M., HALLIN, S., 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Sci. Adv.* 6, eaba1715.

TSCHARNTKE, T., TYLIANAKIS, J.M., RAND, T.A., DIDHAM, R.K., FAHRIG, L., BATARY, P., BENGTSSON, J., CLOUGH, Y., CRIST, T.O., DORMANN, C.F., OTHERS, 2012. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes-eight hypotheses. *Biol. Rev.* 87, 661–685.

Lebensmittelerzeugung mit Nutztieren in einer ökologisierten Landwirtschaft – Ziele und Zielkonflikte

Karl-Heinz Südekum, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Einleitung

Eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts ist die langfristige und weltweite Ernährungssicherheit („Food Security“) unter Berücksichtigung der Begrenztheit natürlicher Ressourcen – Land, Wasser, verschiedene Rohstoffe – und zunehmender Emissionen sowie weiter zunehmender Erdbevölkerung. Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung wird dabei infolge des hohen Ressourcenverbrauchs und beachtlicher Emissionen kritisch gesehen und es werden zunehmend Alternativen gefordert. Gleichzeitig erwirtschaftet die tierische Erzeugung etwa die Hälfte der Wertschöpfung der gesamten landwirtschaftlichen Erzeugung. Nährstoffe tierischen Ursprungs sind für eine ausgewogene Ernährung des Menschen wichtig. Es wird angenommen, dass wegen der steigenden Weltbevölkerung und sich ändernder Einkommensstrukturen der Verbrauch an Lebensmitteln tierischen Ursprungs bis 2050 weltweit um etwa 50 % zunehmen wird. Unter diesen Rahmenbedingungen ist eine stärkere Berücksichtigung der ökologischen Effekte der Nutztierhaltung eine besondere Herausforderung. Unter den mannigfachen Einflussfaktoren (die global und national verschieden sein können) sind vor allem die weltweit abnehmende Ressourcenverfügbarkeit (Wasser, Boden, Energie, Nährstoffe), Emissionen von klimawirksamen Gasen und definierte Ansprüche an die Produktqualität, -herkunft, -sicherheit und -verfügbarkeit von überragender Bedeutung.

Besonders nachdrücklich werden Forderungen nach gleichzeitig tier- und umweltgerechten Produktionsverfahren erhoben, wobei unvermeidliche Zielkonflikte auftreten, deren Lösung gleichermaßen Erkenntnis- und Wissensgewinn voraussetzt. Im vorliegenden Beitrag werden exemplarisch Zielkonflikte und Lösungsansätze erörtert, wobei – der Expertise des Verfassers entsprechend – der Fokus auf der Tierernährung als Teildisziplin der Nutztierhaltung liegt. Eine zukunftsfähige Nutztierfütterung – mit einer deutlich verminderten Lebensmittelkonkurrenz zum Menschen – wird es nur geben, wenn es gelingt, weltweit Koppelprodukte der Lebensmittelerzeugung und -verarbeitung systematischer zu erfassen, zu charakterisieren und zu nutzen. Um das Ziel einer verminderten

Lebensmittelkonkurrenz zu erreichen, müssen die Koppelprodukte stärker als bisher an Nichtwiederkäuerspezies (Schwein, Geflügel) verfüttert werden und die Ernährung der Wiederkäuer verstärkt vom Grünland erfolgen. Bei Nutzung der Aufwüchse von absolutem Grünland liegt keine Lebensmittelkonkurrenz zum Menschen vor. Hochwertige Grünlandaufwüchse können auch – ohne Lebensmittelkonkurrenz – zu hochwertigen, proteinreichen Konzentraten für Schwein und Geflügel veredelt werden. Das Konzept ist nicht neu, aber die Realisierung mit heute verfügbaren Techniken erfolgt bisher kaum.

Im vorliegenden Beitrag wird deshalb versucht, beispielhaft Wege Bedeutung der Lebensmittelerzeugung mit Nutztieren in einer ökologisierten Landwirtschaft aufzuzeigen. Es geht um Prozesse auf einem Weg, die eine kontinuierliche Veränderung bestehender Systeme der Nutztierhaltung und -ernährung ermöglichen und damit die Chance erhöhen, bei allen Akteuren und Betroffenen Akzeptanz zu erreichen. Dabei greift der Autor als Mitautor auszugsweise vor allem auf sehr gründliche, ausführliche Überlegungen und Ausführungen einer kürzlichen Übersichtsarbeit von Flachowsky et al. (2019) zurück, in der – ausgehend von einer Bestandsaufnahme der traditionellen Erzeugung von essbarem Eiweiß tierischer Herkunft – Möglichkeiten der Vermeidung der Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier, der Reduzierung von Flächen-, Futtermittel- und Lebensmittelverlusten sowie Veränderungen im Verzehrverhalten der Menschen bis hin zur Vermeidung von Überkonsum und Übergewicht und zum gegenwärtigen Stand der Aquakultur analysiert werden. Aus der Fülle dieser Überlegungen wird nachfolgend nur ein Thema anhand zweier Gedankenlinien skizziert: Die Verringerung der Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier durch (1) eine verbesserte Nutzung von Koppelprodukten und (2) eine bessere Nutzung von Dauergrünland („absolutes Grünland“). Beides ist nicht neu, erfordert und verdient aber in einem ersten Schritt eine intensiviert Wahrnehmung und nachfolgend eine systematische Bearbeitung.

Nutzung von Koppelprodukten

Futtermittel sind die Basis für das Leben der Tiere und sind definiert als Substanzen, die von Tieren verzehrt werden und Voraussetzungen für entsprechende Leistungen (Erhaltungsbedarf, Wachstum, Laktation, Legeleistung, Reproduktion etc.) sind. Sie sind umfassend in der wissenschaftlichen Literatur, in Fachbüchern und in Lehrmaterialien für Landwirte beschrieben. Nach FAO-Statistiken werden beispielsweise etwa 85 % der Weltsojaernte und etwa ein Drittel der Weltgetreideernte in der Tierernährung eingesetzt. Meist wird nicht erwähnt, dass die Futtermittel auch Fraktionen enthalten, die vom Menschen direkt ver-

zehrt werden können. Mit zunehmender Erdbevölkerung und wachsender Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier wird es bedeutungsvoll, diese Fraktionen zu erfassen. Dadurch wird es möglich, den Beitrag der Nutztiere für die Humanernährung (Umwandlung von nicht essbarem Material in essbare Fraktion) besser, d. h. unverzerrter zu erfassen und die diesbezügliche Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier bzw. das „Dilemma der Tierproduktion“ zu vermindern oder gar zu vermeiden (Schader et al., 2015). Der CAST (1999) war die erste Organisation, die eine Quantifizierung des vom Menschen essbaren Anteils (human edible fraction, hef) versuchte zu erfassen und unterteilte die Futtermittel in drei Gruppen: keinen essbaren Anteil für alle Grobfutter; etwa 20 % Anteil für Ko- bzw. Koppelprodukte und etwa 80 % vom Menschen essbar für Getreide und Leguminosen.

Später entwickelten Wilkinson (2011) und Ertl et al. (2015a, b) dieses CAST-System weiter. Dabei unterscheiden Ertl et al. (2015a) in wenig, mittel oder hoch verfügbare Fraktionen für den Menschen. Die hef-Werte können auf die gesamte Trockenmasse (TM) des Futters, aber auch auf einzelne Fraktionen, z. B. Protein (human edible protein, hep), bezogen werden. Dabei handelt es sich nicht in jedem Fall um streng wissenschaftliche Daten. Sie können aber zu einer Versachlichung der Diskussion um die Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier beitragen. Es erscheint durchaus zweckmäßig, die hef-Fraktionen auch als Merkmale in Futtermitteltabellen aufzunehmen und gegebenenfalls bei der Rationsberechnung zu berücksichtigen. In Fütterungsversuchen mit Milchkühen haben Ertl et al. (z. B. 2015b; 2016), aber auch Eisler et al. (2014), Leiber et al. (2017) und weitere Autoren die Sinnhaftigkeit derartiger Betrachtungen eindrucksvoll demonstriert.

Unter Berücksichtigung der hef-Werte führten Ertl et al. (2016) den Begriff der Netto-Lebensmittelerzeugung durch verschiedene Nutztiere ein. In Weiterentwicklung des „hef-Systems“ kann auch in Ackerland, das ausschließlich zur Erzeugung von Lebensmitteln für die Humanernährung genutzt werden konnte und in Dauergrünland, das zur Lebensmittelerzeugung nur durch Wiederkäuer und andere Pflanzenfresser ohne Nahrungskonkurrenz zum Menschen genutzt werden kann, unterschieden werden. Die hef-Werte von 0 für Getreidestroh (Ertl et al., 2015a) und verschiedene Neben- bzw. Koppel-Produkte unterstreichen die große Bedeutung dieser Stoffe für die Tierernährung. Die effektivere Nutzung von Nebenprodukten des Pflanzenbaus, wie beispielsweise von Getreidestroh, Nebenprodukte des Zuckerrohr-(Bagasse) und -rübenanbaus (Kraut), stellt ebenfalls eine Möglichkeit zur Nutzung potentieller Futtermittel dar. Global wird die jährlich anfallende Menge der Getreide-Nebenprodukte auf etwa 2,8 Mrd. t, die von Zuckerrohr und -rüben auf etwa 0,4 Mrd. t (Lal, 2005) geschätzt.

Die Frage allerdings, inwieweit die rasante Entwicklung der Bioökonomie mit einer Fülle zu erwartender neuer oder modifizierter Verarbeitungsprozesse den Anfall, d. h. die Stoffströme, und die Qualität der Koppelprodukte verändern wird und somit ‚neue‘ oder zumindest stark veränderte Futtermittel entstehen könnten, wird bisher kaum thematisiert oder adressiert, sollte jedoch stärker in den Fokus geraten, was nachfolgend an einem einfachen Beispiel illustriert wird. Die weltweit über Jahre hinweg stark gestiegene Erzeugung von Bioethanol aus Getreide als Treibstoff hat zu Koppelprodukten geführt, die zwar weiterhin den Namen ‚Schlempen‘ tragen, aber wegen der geänderten Zielrichtung im Vergleich zu einer Ethanolherstellung für Trinkalkohol (stark vereinfacht ausgedrückt: maximale Ausbeute bei Bioethanol versus spezifische Qualität des Alkohols bei Trinkalkohol) zum Teil deutlich veränderte stoffliche Eigenschaften aufweisen. Hierzu gibt es mit dem Schwerpunkt der Verwendung der Schlempen und anderer Koppelprodukte der Biotreibstoffherstellung in der Tierernährung u. a. eine sehr umfangreiche, lesenswerte Studie, die von der FAO (2012) publiziert wurde.

Geht man noch einen Schritt weiter, dann muss auch die Frage gestellt werden, ob und inwieweit eine veränderte Beschaffenheit von Koppelprodukten der Verarbeitung pflanzlicher Rohstoffe die Produkte tierischer Herkunft beeinflussen und verändern können. Dieser Aspekt soll hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt, aber nicht weiter ausgeführt werden, weil dies zum einen den Rahmen des vorliegenden Beitrags sprengen würde und zum anderen zum derzeitigen Zeitpunkt überwiegend spekulativ wäre.

Mangels anderer Nutzungsmöglichkeiten, oft aber auch wegen Mangels an Arbeitskräften und Transportkapazitäten während der Ernte wird in verschiedenen asiatischen Hauptanbaugebieten von Getreide (überwiegend Reis, aber auch Weizen; Indien und China) das Stroh noch weitgehend mit erheblichen Emissionen verbrannt (Gupta et al., 2004). Neuerdings werden wieder alternative Nutzungsmöglichkeiten, wie unterschiedliche chemisch-physikalische (z.B. AFEX-Verfahren; Blümmel et al., 2018; Mor et al., 2018) und biologische Behandlungen (Enzyme, Weißfäulepilze; Kumar et al., 2014) zur Futterwerterhöhung von Stroh erprobt und können perspektivisch trotz gegenwärtig noch vorhandener Schwachstellen zur effizienteren Nutzung beitragen. Komplexe Betrachtungen dieser teilweise recht aufwändigen Verfahren, einschließlich entsprechender Öko-Bilanzen (z. B. Flachowsky et al., 1996) erscheinen erforderlich. Zum Einfluss unterschiedlicher Anteile von Nebenprodukten aus Landwirtschaft, Lebensmittel- und Bioenergie-Industrie in der Tierernährung auf den Bedarf an Ackerland für die Erzeugung von essbarem Eiweiß sei auf einen weiteren Beitrag verwiesen (Flachowsky et al., 2017).

Was aber bedeutet eine gleichzeitig verstärkte Produktion biobasierter Industrie-Grundstoffe für die bisherige umfangreiche Nutzung von Koppelprodukten der ‚klassischen‘ Pflanzenproduktion auf dem Acker (z. B. Stroh, aber auch Koppelprodukte der Lebensmittelverarbeitung wie Kleien) in der Ernährung von Nutztieren? Werden die bisher genutzten Mengen abnehmen, regionale Verschiebungen erfahren oder durch Fortschritte in pflanzlichen Produktionssystemen von der Züchtung bis zur Verarbeitungstechnologie sogar zunehmen? Welche Auswirkungen hat somit die Entwicklung effizienter Produktionssysteme, die u. a. mit dem Ziel der Verbesserung der Nutzung pflanzlicher Biomasse verfolgt werden, auf die Nutztierhaltung? Der für viele industrielle Anwendungen im Fokus stehende Aufschluss von Lignocellulose in Pflanzen ist ein Prozess, der die Nutzung pflanzlicher Biomasse massiv verändern könnte.

Nutzung von Dauergrünland

Die weltweit verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche besteht zu mindestens zwei Dritteln aus ‚permanenten Wiesen und Weiden‘, oder, anders ausgedrückt, aus Grünland unterschiedlichster Qualität und Quantität (FAOSTAT 2010:29 für 2009: „37,7 % der weltweiten Landfläche, das entspricht 4,9 Mrd. ha, gelten als landwirtschaftliche Nutzfläche, 69,4 % oder 3,4 Mrd. ha sind permanente Wiesen und Weiden. 8,6 % oder 1,4 Mrd. ha sind Ackerland; davon sind 10,9 % oder 152 Mio. ha permanente Ackerkulturen“). Es gehört nicht viel Phantasie dazu, zu unterstellen, dass eine nachhaltige Etablierung einer Nutztierfütterung unter weitgehendem Verzicht auf Nahrungskonkurrenz nicht auf die ohnehin unter starker Nutzungskonkurrenz stehenden Ackerflächen beschränkt sein kann. Dies gilt umso mehr, als die Lignocellulose pflanzlicher Zellwände in Pflanzenbeständen auf Grünlandstandorten typischerweise in höheren Konzentrationen vorkommt als in Ackerpflanzen. Verstärkte Anstrengungen zur verbesserten, nachhaltigen Nutzung des Grünlandes werden dabei zum einen dazu führen, dass traditionelle Nutzungsformen auf trockenen Standorten wie etwa die Beweidung von Brachen im Mittelmeerraum zurückgedrängt werden. Andererseits kann erwartet werden, dass eine Nutzung häufig vernachlässigter Grünlandflächen in anderen Regionen auch den effizientesten Nutzern faserreicher pflanzlicher Biomasse, nämlich den Herbivoren – und hier vor allem den Wiederkäuern – zu Gute kommen wird. Dies gilt national und weltweit. National könnte die Umsetzung der Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz „Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen“ (DAFA, 2015) hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten: *„Mit der Forschungsstrategie sollen Ansätze für eine Grünlandnutzung neu gedacht werden, die Wirtschaftlichkeit und Ökosystemleistungen, wie Biodiversität oder Wasserregulierung, miteinander verbindet.“*

Zu einer besseren Wirtschaftlichkeit der Grünlandnutzung in Deutschland könnte auch beitragen, dass aus Grünlandbiomasse mit unterschiedlichen Verarbeitungstechniken proteinreiche Produkte für die Fütterung von Huhn und Schwein hergestellt werden können, etwa durch Fraktionierung, Hitzeaggregation und Zentrifugation, Ultrafiltration, Säurefällung aus Presssaft, Pelletierung sowie Trocknung und Trennung. Bereits 1773 wurden erste Proteinfractionen aus Grünlandbiomasse gewonnen (nach Koschuh et al., 2003). In der Praxis fanden potenzielle Verfahren zur Herstellung von Blattproteinkonzentraten etwa Mitte des 20. Jahrhunderts Anwendung (Chayen et al., 1961; Barber et al., 1979). Eine Etablierung in der Fütterung monogastrischer Nutztierspezies erfolgte bisher jedoch nicht (Nadler et al., 2013). Unverarbeitet weisen Luzerne, Gras und Klee ein hohes Ertragspotenzial auf, erreichen aber aufgrund der geringen TM- und Rohproteingehalte nicht das Rohproteinerntragsniveau der Sojabohne. Im verarbeiteten Zustand liegen Proteinkonzentrate aus Luzerne, Weidelgräsern sowie Klee-Gras-Gemischen bezüglich des Rohproteingehaltes mit Werten von 460-520 g/kg TM annähernd bei den Werten von hochwertigem Sojaextraktionsschrot (545 g/kg TM). Alle Produkte aus Grünlandbiomasse weisen im Vergleich zum Sojaextraktionsschrot ein breites Aminosäurespektrum auf und enthalten alle essentiellen Aminosäuren in einem für Futtermittel geeigneten Maße. Eine Limitierung der Bedarfsdeckung bei Schweinen ergibt sich durch die Untergehalte an Lysin und schwefelhaltigen Aminosäuren. Zur Verbesserung der Ausbeute an Rohprotein innerhalb der Herstellung von Proteinkonzentraten, liegen verschiedenen Optimierungsansätze vor. Beim Arbeitsvorgang der Fraktionierung findet eine Steigerung des Zellaufschlusses über die Nutzung mechanischer, chemisch-physikalischer und/oder biotechnologischer Desintegration statt. Eine Alternative stellt die Doppelpressung und das Überspülen der Pressrückstände mit Wasser dar (Kromus et al., 2002; Nadler et al., 2013). Zudem bietet die Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren eine weitere Möglichkeit, die Bedarfsdeckung mit essentiellen Aminosäuren zu gewährleisten. Um die unbefriedigende Datenlage und die resultierenden Unsicherheiten seitens der Landwirte zu beheben, müssen weitere *in vivo*-Fütterungsversuche durchgeführt werden. Für eine ganzheitliche Betrachtung sollten die praecaecale Verdaulichkeit, die Sensorik und die Praxistauglichkeit im Fokus stehen. Zur Behebung der Lagerungsproblematik in Bezug auf Rohprotein müssen weitere Lagerungs- und Konservierungsverfahren entwickelt werden, die eine Produktion von Produkten aus Grünlandbiomasse in großem Umfang ermöglichen. Für die Produktion von Proteinkonzentraten aus Silage steht die Wissenschaft vor der Aufgabe, entsprechende Technologien zu erarbeiten. Nach derzeitigem Stand ist die Herstellung und Entwicklung proteinreicher Produkten aus Kleearten, wertvollen Futtergräsern und Luzerne aufgrund verschiedener anbautechnischer und gesellschaftspolitischer Aspekte verfolgenswert.

Fazit

Nach Auffassung des Autors kann eine zukunftsfähige Lebensmittelerzeugung mit Nutztieren in einer ökologisierten Landwirtschaft mit einer deutlich verminderten Lebensmittelkonkurrenz nur gelingen, wenn weltweit Koppelprodukte der Lebensmittelerzeugung und -verarbeitung systematischer erfasst, charakterisiert und genutzt werden. Um das Ziel einer verminderten Lebensmittelkonkurrenz zu erreichen, müssen die Koppelprodukte stärker als bisher an Nichtwiederkäuerspezies (Schwein, Geflügel) verfüttert werden und die Ernährung der Wiederkäuer verstärkt vom Grünland erfolgen. Bei Nutzung der Aufwüchse von absolutem Grünland liegt keine Lebensmittelkonkurrenz zum Menschen vor. Hochwertige Grünlandaufwüchse können auch – ohne Lebensmittelkonkurrenz – zu hochwertigen, proteinreichen Konzentraten für Schwein und Geflügel veredelt werden. Das Konzept ist nicht neu, aber die Realisierung mit heute verfügbaren Techniken erfolgt bisher kaum.

Literatur

BARBER, R.S., R. BRAUDE, K.G. MITCHELL, I.G. PARTRIDGE UND R.J. PITTMAN (1979): Value of lucerne juice and grass juice as sources of protein for the growing pig. Anim. Feed Sci. Technol. 4, 233-262

BLÜMMEL, M., F. TEYMOURI, J. MOORE, C. NIELSON, J. VIDETO, P. KODUKULA, S. POTHU, R. DEVULAPALLI UND P. VARIJAKSHAPNICKER (2018): Ammonia Fiber Expansion (AFEX) as spin off technology from 2nd generation biofuel for upgrading cereal straws and stovers for livestock feed. Anim. Feed Sci. Technol. 236, 178-186

CAST (COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) (1999): Animal Agriculture and Global Food Supply. Task Force Report No. 135. CAST, Ames, IA

CHAYEN, H., R.H. SMITH, D. TRISTRAM, UND T. WEBB (1961): The isolation of leaf components. J. Sci. Food Agric. 12, 502-512

DAFA (DEUTSCHE AGRARFORSCHUNGSALLIANZ) (2015): Fachforum Grünland. Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. DAFA, Braunschweig

EISLER, M.C., M. LEE, J.F. TARLTON, G.B. MARTIN, J. BEDDINGTON, J. DUNGAIT, H. GREATHEAD, J. LIU, S. MATHEW, H. MILLER, T. MISSELBROOK, G.B. MURRAY, V.K. VINOD, R. VAN SAUN UND M. WINTER (2014): Steps to sustainable livestock. Nature 507, 32-34

ERTL, P., H. KLOCKER, S. HÖRTENHUBER, W. KNAUS AND W. ZOLLITSCH (2015a): The net contribution of dairy production to human food supply: The case of Austrian dairy farms. *Agric. Syst.* 137, 119-125.

ERTL, P., Q. ZEBELI, W. ZOLLITSCH UND W. KNAUS (2015b): Feeding of by-products completely replaced cereals and pulses in dairy cow and enhanced edible feed conversion ratio. *J. Dairy Sci.* 98, 1225-1233.

ERTL, P., A. STEINWIDDER, M. SCHÖNAUER, K. KRIMBERGER, W. KNAUS UND W. ZOLLITSCH (2016): Net food production of different livestock: A national analysis for Austria including relative occupation of different land categories. *Bodenkultur* 67, 91-103.

FAO (2012): Biofuel Co-products as Livestock Feed - Opportunities and Challenges. H.P.S. Makkar (Ed.). FAO, Rome

FLACHOWSKY, G., W.I. OCHRIMENKO, M. SCHNEIDER UND G.H. RICHTER (1996): Evaluation of straw treatment with ammonia sources of growing bulls. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60, 117-130

FLACHOWSKY, G., U. MEYER UND K.-H. SÜDEKUM (2017): Land use for edible protein of animal origin – A review. *Animals* 7, 1-19

FLACHOWSKY, G., U. MEYER UND K.-H. SÜDEKUM (2019): Protein tierischer Herkunft: Gibt es Alternativen? *Züchtungskde.* 91, 178-213

GUPTA, P.K., S. SAHAI, N. SINGH, D.P. DIXIT, C. SHARMA, M.K. TIWARI, R.K. GUPTA UND S.C. GANG (2004): Residue burning in rice-wheat cropping system: Causes and implication. *Current Sci.* 87, 1713-1717

KOSCHUH, W., S. KROMUS, UND C. KROTSCHKEK (2003): Grüne Bioraffinerie – Gewinnung von Protein aus Grassäften. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie des Landes Steiermark (Hrsg.), *Berichte aus Energie- und Umweltforschung* 19/2003, 13-46

KROMUS, S., M. NARODOSLAWSKY UND C. KROTSCHKEK (2002): Grüne Bioraffinerie – Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie des Landes Steiermark (Hrsg.), *Berichte aus Energie und Umweltforschung* 18/2002, 117-142

KUMAR, A., V.K. SINGH UND N.R. KUMAR (2014): Utilization of paddy straw as animal feed. *Forage Res.* 40, 154-158

LAL, R. (2005): World crop residues production and implications of its use as a biofuel. *Environ. Int.* 31, 575-584

LEIBER, F., I.K. SCHENK, A. MAESCHLI, S. IVEMEYER, J.O. ZEITZ, S. MOAKES, P. KLOCKE, P. STEAHLI, C. NOTZ AND M. WALKENHORST (2017): Implications of feed concentrate reduction in organic grassland-based dairy systems: A long-term on-farm study. *Animal* 11, 2051-2060

MOR, P., B. BALS, A.K. TYAGI, F. YEYMOURI, N. TYAGI, S. KUMAR, V. BRINGI AND M. VANDEHAAR (2018): Effect of ammonia fiber expansion on the available energy content of wheat straw fed to lactating cattle and buffalo in India. *J. Dairy Sci.* 101, 7990-8003

NADLER, C., D. BRUGGER UND W. WINDISCH (2013): Gewinnung von Futterprotein-konzentrat aus Grünlandbiomasse. In: Auf der Suche nach neuartigen Futtermitteln und Technologien in der Tierernährung. Mair, C., M. Kraft, W. Wetscherek und K. Schedle (Hrsg.), 12. BOKU-Symposium Tierernährung, 83-87

SCHADER, C., A. MÜLLER, A., N.E. SCIALABBA, J. HECHT, A. ISENSEE, K.H. ERB, P. SMITH, H.P.S. MAKAR, P. KLOCKE, F. LEIBER, P. SCHWEGLER, M. STOLZE UND U. NIGGLI (2015): Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. R. Soc. Interface* 12, 20150891.

WILKINSON, J.M. (2011): Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal* 5, 1014-1022

Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum, Institut für Tierwissenschaften, Universität Bonn, Endericher Allee 15, 53115 Bonn; E-mail: ksue@itw.uni-bonn.de

Autoren (korrespondierend)

Prof. Dr. Karl Hermann Mühling	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät Hermann-Rodewald-Strasse 2 24118 Kiel
Prof. Dr. rer. nat. Emily Alice Poppenborg	Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover Institut für Geobotanik Nienburger Straße 17 30167 Hannover
Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Institut für Tierwissenschaften Endenicher Allee 15 53115 Bonn
Prof. Dr. Friedhelm Taube	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüch- tung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau Hermann-Rodewald Str. 9 24118 Kiel
Prof. Dr. Alexander Wezel	AGRAPOLE - ISARA LYON 23, rue Jean Baldassini 69364 Lyon cedex 07 France

Referenten ohne Autorenbeiträge:

Prof. Dr. Henning Kage, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Die Rolle von Fruchtfolgen und Düngung in einer ökologisierten Landwirt-
schaft**

Prof. Dr. Bärbel Gerowitt, Universität Rostock

-kein Beitrag-

Prof. Dr. Johannes Isselstein, Universität Göttingen

Forschung für eine agrarökologische Transformation

Prof. Dr. Urs Niggli, FiBL Europe, Brüssel
-kein Beitrag-

Prof. Dr. Ute Knierim, Universität Kassel

Extensivere Tierhaltungsformen für eine stärker ökologisierte Landwirtschaft: Zielkonflikte und Lösungsansätze

Prof. Dr. Sebastian Lakner, Universität Rostock

Ökonomische Betrachtungen einer stärker ökologisierten Landwirtschaft in Pflanzenbau und Tierhaltung

Prof. Dr. Peter Feindt, Humboldt-Universität zu Berlin

Abschlussvortrag Governancemethoden für Transformationsprozesse: wie kann der Übergang gelingen?

In der Schriftenreihe *agrarspectrum* sind noch folgende Bände erhältlich:

Band 45

Nutzungskonkurrenzen in der Landschaft – Ursachen, Auswirkungen und Lösungsansätze
2012; 180 Seiten, Broschüre, € 5,00

Band 46

Klimawandel und Extremwetterereignisse: ein Problem für die Landwirtschaft?
2013; 162 Seiten, Broschüre, € 19,90

Band 47

Trends in der Landwirtschaft – quo vadis Agrarwissenschaften?
2015; 98 Seiten, Broschüre, € 14,90

Band 48

Bioökonomie: Welche Bedeutung haben die Agrar- und Forstwissenschaften?
2016; 122 Seiten, Broschüre, € 14,90

Band 49

Nutztierhaltung: Herausforderungen und Implikationen für die Forschung
2017; 126 Seiten, Broschüre, € 14,90

Band 50

Zukunft des Pflanzenschutzes
2018; 98 Seiten, Broschüre, € 14,90

Band 51

Lebensmittelsicherheit: Fakten aus der Wissenschaft
2018; 92 Seiten, Broschüre, € 12,90

Band 52

Phosphoreinsatz in der Landwirtschaft zwischen Knappheit und Überschuss
2019; 84 Seiten, Broschüre