

Kann Bio die Welt ernähren?

Skript zur Doppellektion vom 11.1.2023, BLAp084 HAFL

Adrian Müller, 10.1.2023 (Version 2019, angepasst 2020 und 2023)

Kontakt: adrian.mueller@fibl.org

Inhalt

1	Ziele dieser Doppellektion	1
2	Was bedeutet eigentlich die Frage „Kann Bio die Welt ernähren“ ?	2
2.1	<i>Was ist Bio</i>	2
2.2	<i>Was heisst „die Welt ernähren“?</i>	4
3	Wie lautet die Antwort – kann Bio die Welt ernähren oder nicht?	5
3.1	<i>Erträge und Fruchtfolgen</i>	5
3.2	<i>Systemischer Zugang</i>	9
3.3	<i>Kritik</i>	15
3.4	<i>Bio und Verarbeitung</i>	18
4	Ist die Frage, ob Bio die Welt ernähren kann überhaupt eine relevante und interessante Frage?	21
4.1	<i>Eigentlich nicht – die Frage ist eher: Was ist ein nachhaltiges Ernährungssystem?</i>	21
4.2	<i>Einige Aspekte nachhaltiger Ernährungssysteme</i>	22
4.3	<i>Welche Rolle spielen „Natürlichkeit“ und „technologisch-industrielle“ Ansätze?</i>	22
5	Wie setzt man dies alles um?	24
5.1	<i>Die Rolle von solchen Massenflussmodellen in dieser Diskussion</i>	24
5.2	<i>Die Rolle von Bio in nachhaltigen Ernährungssystemen</i>	25
6	Fazit.....	27
7	Literatur.....	28
8	Anhang.....	31

1 Ziele dieser Doppellektion

- Sie können die Frage, ob Bio die Welt ernähren kann in einem weiteren systemischen Kontext diskutieren.
- Sie können erklären, weshalb nachhaltige landwirtschaftliche Produktion nicht unabhängig vom Konsum betrachtet werden kann.
- Sie können erklären, was die Rolle von Biolandbau in nachhaltigen Ernährungssystemen und damit verbundenen gesellschaftlichen Prozessen sein könnte.

2 Was bedeutet eigentlich die Frage „Kann Bio die Welt ernähren“ ?

2.1 Was ist Bio

Zuerst muss diskutiert werden, was man genau unter der biologischen Landwirtschaft versteht. Die einfachste Antwort besteht darin, die nach den Richtlinien der biologischen Landwirtschaft zertifizierten Anbauformen darunter zu verstehen. So lässt sich sehr klar sagen, ob ein Anbausystem biologische ist oder nicht. Eine Kritik daran ist, dass es gerade im Süden und in extensiven Kontexten viel Produktion, die eigentlich biologisch sei, aber nicht als solche zertifiziert werde. Dies wären Produktionssysteme ohne Mineraldünger- und Pestizidinputs, und der Verzicht auf diese Inputs wäre nicht aufgrund des Entscheids, biologisch zu produzieren gefällt worden, sondern eher aufgrund von Sachzwängen, wie mangelnde finanzielle Mittel, diese Inputs zu kaufen, etc. Diese Systeme sind dann kaum optimal aufgesetzt und repräsentieren eher eine Mangelwirtschaft als ein optimales biologisches Produktionssystem, das um Bodenfruchtbarkeit, organische Dünger, Verzicht auf synthetische Pestizide, optimale Fruchtfolgen und Diversität kreist.

Wir nutzen hier deshalb die Definition biologischer Landwirtschaft, wie sie zum Beispiel Seufert und Ramankutty (2017) verwenden: „Organic agriculture is defined here as a farming system that follows organic certification guidelines (for example, avoidance of synthetic fertilizers and pesticides) and that is intentionally organic (that is, excluding organic-by-default systems that do not apply synthetic inputs due to lack of access). Conventional agriculture is defined as mainstream agriculture as dominantly practiced today. This can represent both high-input and low-input systems, depending on the region.“

Neben dem Verzicht auf synthetische Dünger und Pestizide bedeutet die biologische Landwirtschaft insbesondere auch einen Fokus auf Erhalt und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, auf optimale Fruchtfolgen mit genügend hohem Leguminosenanteil, oft auch eine optimale Kombination von Tier- und Pflanzenproduktion, und einen Pflanzenschutz, der auf ökologischen Prinzipien basiert und vorhandene Ökosystemdynamiken nutzt (wie Nützlinge zur Schädlingsbekämpfung, push-pull, geeignete Pflanzengemeinschaften, etc.).

Ein sehr systemischer Zugang zur biologischen Landwirtschaft findet sich in der Definition der IFOAM – Organic International (International Federation of Organic Agriculture Movements), welche wie folgt lautet: „We define Organic Agriculture as a production system that sustains the health of soils, ecosystems and people; relies on ecological processes, biodiversity and cycles adapted to local conditions, rather than the use of inputs with adverse effects; and combines tradition, innovation and science to benefit the shared environment and promote fair relationships and a good quality of life for all involved.“ (IFOAM 2018).

Viele Ideen der Biolandwirtschaft finden sich auch in der Agrarökologie wieder, welche aber nicht deckungsgleich ist und in vielem flexibler und breiter verstanden wird. Zentral bei beiden ist der Fokus auf Ökosystemprozesse und gesunde Böden, während die Agrarökologie Diversitätsaspekte eher noch mehr betont als der Biolandbau, bzw. als der praktische Biolandbau in der konkreten Umsetzung realisiert. Agrarökologie ist aber vor allem auch weiter gefasst, indem sie oft einen viel stärkeren Fokus auf das gesamte Ernährungssystem und die Gesellschaft hat und teils auch als soziale Bewegung verstanden wird (HLPE 2019).

Die zentralen Fragen, wenn man sich mit biologischer Landwirtschaft und der Frage nach der Welternährung auseinandersetzt sind oft primär die Erträge – sind die Erträge hoch genug? Und braucht die biologische Landwirtschaft nicht viel mehr Flächen – aufgrund tieferer Erträge und aufgrund hoher Anteile an Leguminosen in der Fruchtfolge? Dazu kommen wir weiter unten noch im Detail. Weitere Fragen betreffen die Wissensintensität des biologischen Produktionssystems: ist es für alle Bauern geeignet? Können alle Bauern

erfolgreich biologische Landwirtschaft betreiben? Und die möglicherweise eingeschränkte Anwendbarkeit in gewissen Kontexten aufgrund des Verzichts auf gewisse Produktionsmittel: ist biologische Landwirtschaft zum Beispiel ein geeignetes System auf sehr armen Böden mit sehr tiefen Gehalten an organischer Substanz? Die Grundfrage dabei ist, ob das Biosystem genügend Biomasse bereitstellen kann, so dass eine adäquate Nährstoffversorgung möglich ist – oder ob es allenfalls zu Beginn nicht nur mit ein wenig Mineraldüngergaben geht (falls nicht die Biomasse extern aus anderen Quellen wie Siedlungsabfällen oder so verfügbar ist), bis ein gewisses Niveau an Bodenfruchtbarkeit erreicht ist.

Was mittlerweile hinreichend geklärt ist, ist die recht gute Leistung der biologischen Landwirtschaft anhand vieler Nachhaltigkeitsindikatoren inklusive ökonomischer Aspekte (Seufert und Ramankutty 2017, Reganold und Wachter 2016, Crowder und Reganold 2015, Hess und Sanders 2019 – siehe die nachfolgenden Abbildungen 1-3).

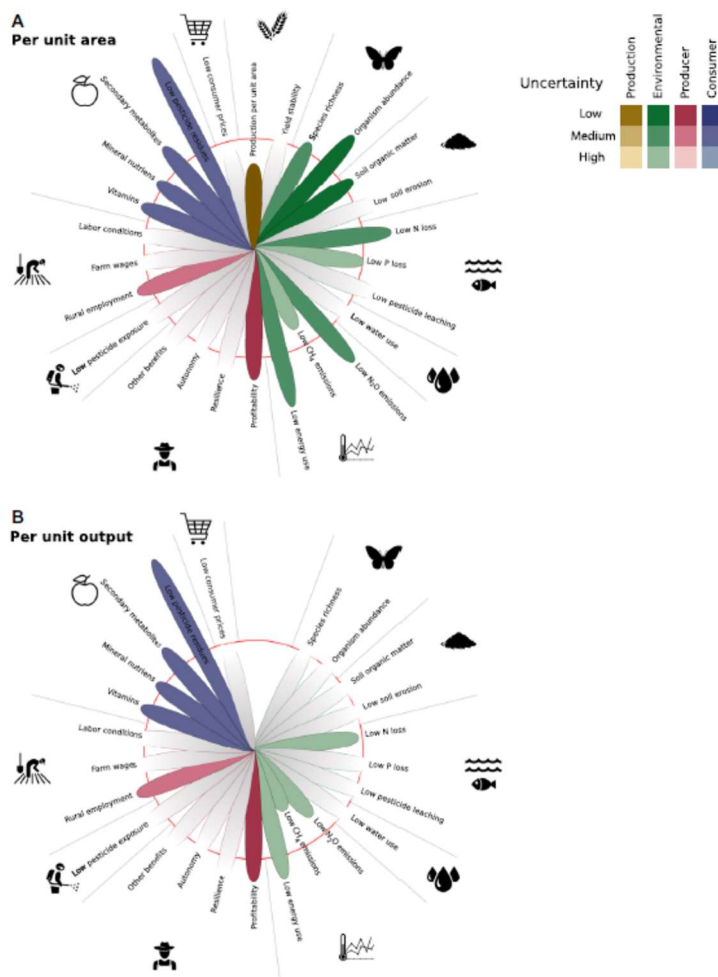


Fig. 1. Overall average performance of organic agriculture relative to conventional agriculture (indicated by the red circle). (A) Performance per unit area and (B) performance per unit output. Figure includes production (brown petals), environmental (green petals), producer (red petals), and consumer (blue petals) benefits (petals that extend beyond the red circle) and costs (petals inside the red circle). Dimensions assessed include (starting at the top, going clockwise) production, biodiversity, soil quality, water quality, water quantity, climate change mitigation, farmer livelihoods, farmer and farm worker health, farm worker livelihoods, consumer health, and consumer access. Larger petals represent superior organic performance (for example, a larger petal for N loss means lower N loss in organic). In addition, note that per unit output performance is only relevant for environmental variables; other petals are unchanged relative to per unit area performance. Shading of petals represents level of uncertainty for each variable, with uncertainty determined by the number of primary studies included in each assessment and the level of agreement between different quantitative reviews (see fig. S6 for details). Variables that could not be quantified are in gray. Length of gray petals also varies slightly depending on whether the qualitative assessment of each dimension (see Table 2) is uncertain or suggests no difference (that is, petal is on the red circle) or shows higher (that is, petal extends beyond the red circle) or lower (that is, petal is inside the red circle) performance. Means used to quantify each variable (also known as petal length) were calculated as weighted means (weighted by the sample size, typically the number of observations in each quantitative review) across estimates of response ratios (organic/conventional) from different quantitative reviews (see table S1 for sources and figs. S1, S2, and S5 for values used) and are represented on a log scale to treat changes in the numerator and denominator the same [with the red circle indicating no change, that is, $\log(\text{org}/\text{conv}) = 0$]. Note that this approach does not account for double-counting of primary studies included in multiple quantitative reviews or meta-analyses. This double-counting might affect petal size but would not alter qualitative size relationships among petals.

Abbildung 1: Nachhaltigkeitsperformance bio versus konventionell (Seufert und Ramankutty 2017)

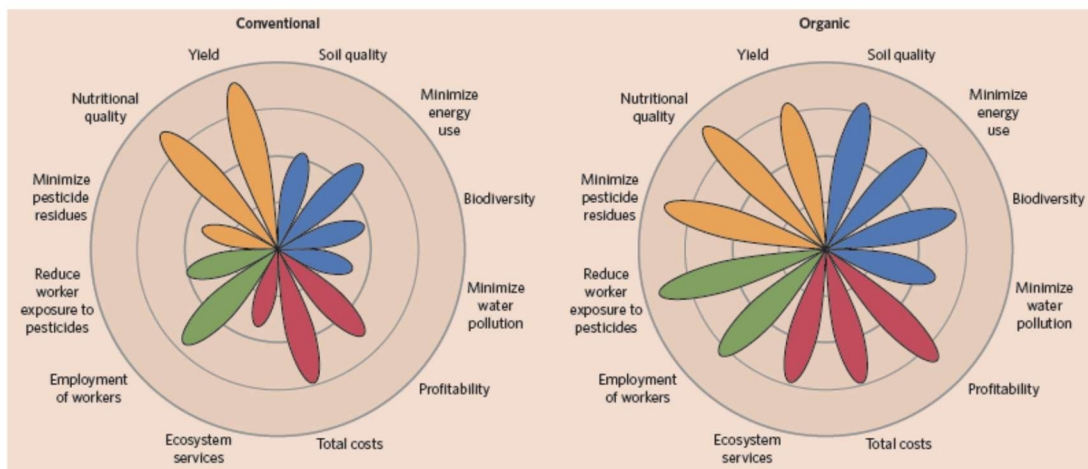


Figure 4 | Assessment of organic farming relative to conventional farming in the four major areas of sustainability. Lengths of the 12 flower petals are qualitatively based on the studies discussed in this Review^{15-23,25-29,32-56,58,62-74} and indicate the level of performance of specific sustainability metrics relative to the four circles representing 25, 50, 75 and 100%. Orange petals represent areas of production; blue petals represent areas of environmental sustainability; red petals represent areas of economic sustainability; green petals represent areas of wellbeing. The lengths of the petals illustrate that organic farming systems better balance the four areas of sustainability.

Abbildung 2: Nachhaltigkeitsperformance bio versus konventionell (Reganold und Wachter 2016)

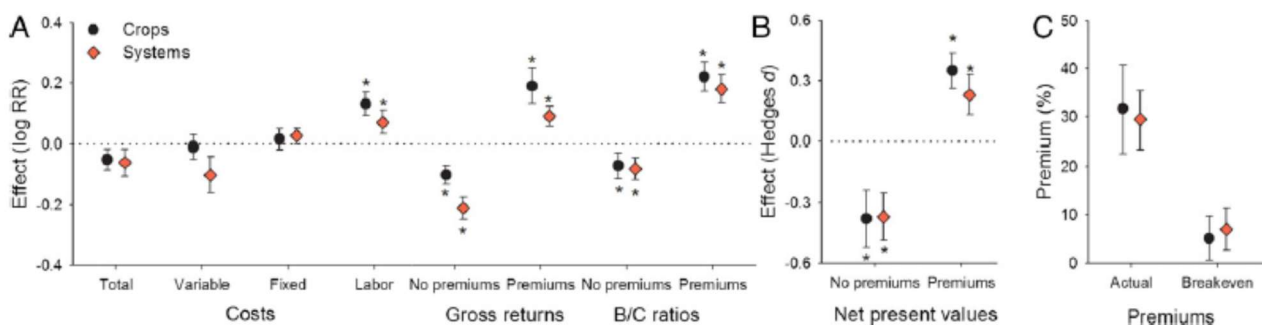


Fig. 1. Financial performance of organic compared with conventional crops and systems. Shown are the median log response-ratios (RR; \pm SE) for costs, gross returns, and benefit/cost (B/C) ratios (A), median Hedges d values (\pm SE) for net present values (B), and organic premiums awarded and breakeven premiums needed for organic net present values to match conventional net present values (C). In A and B, asterisks indicate significant differences from 0. Positive values indicate financial parameters were higher in organic agriculture compared with conventional agriculture.

Abbildung 3: Profitabilität bio versus konventionell (Crowder und Reganold 2015)

Dabei ist die in der biologischen Landwirtschaft die Leistung pro Einheit Produkt (also z.B. Tonne) oft schlechter, pro Einheit Fläche (also pro Hektare) aber oft besser als in der konventionellen Landwirtschaft. Gerade für flächen- oder ökosystemabhängige Indikatoren (Eutrophierung von Gewässern, Biodiversität, etc.) ist aber der Flächenbezug zentral und nicht der Produktbezug, da bei letzterem die Grenzen der Tragfähigkeit von Ökosystemen nicht sichtbar werden, im Gegensatz zum Flächenbezug. Dies gilt eigentlich für alle Umweltindikatoren ausser den Treibhausgasemissionen, die als globaler Verschmutzer keinen Flächenbezug aufweisen und somit besser in Bezug auf die Mengen beurteilt werden.

2.2 Was heisst „die Welt ernähren“?

Als nächstes muss diskutiert werden, was eigentlich „die Welt ernähren“ bedeutet. Gemäss den derzeitigen Prognosen bedeutet das, dass 2050 etwa 9,7 Milliarden Menschen ernährt werden müssen. Gemäss den Prognosen der FAO von 2018 (FAO 2018) wird dies mit etwa 11 Prozent höherem Landbedarf und leicht höherer

Nahrungsverfügbarkeit pro Person erreicht. FAO (2018) rechnet mit gut 2900 Kilokalorien Nahrungsverfügbarkeit pro Tag und Kopf im weltweiten Durchschnitt. Dies bedeutet ein Ernährungssystem in dem weiterhin etwa ein Drittel der Produktion weggeworfen wird oder entlang der Wertschöpfungskette verloren geht, denn 2900 Kilokalorien liegen weit über dem durchschnittlichen Bedarf. Dass dies ohne grossen zusätzlichen Landverbrauch bereitgestellt werden kann beruht auf der Annahme, dass die Erträge weiterhin stark steigen – zwar nur etwa knapp halb so stark wie in den Jahrzehnten vor 2012, welches als Basisjahr dieser Szenarien dient, aber immer noch stark.

Dies ist angesichts des Klimawandels eine vielleicht sehr optimistische Vorhersage. Es gibt Studien, die drastische tiefere bis ausbleibende Ertragsanstiege bis 2050 vorhersagen oder sogar von tieferen Erträgen als heute für die wichtigsten Kulturen wie Reis, Weizen oder Mais ausgehen (z.B. Asseng et al. 2015, Challinor et al. 2014, Porter et al. 2014, Müller et al. 2010, Müller et al., 2014). Ertragsvorhersagen sind sehr komplex und von grossen Unsicherheiten behaftet. Wichtig ist es jedenfalls, dabei auch immer die neusten Resultate zu berücksichtigen, da die Modellierungen stetig weiterentwickelt und verfeinert werden. Jägermeyr et al. (2021) zeigen zum Beispiel, dass die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Erträge von Mais, Reis und Soja wohl grösser sind und früher auftreten als aufgrund vorgängiger Modellierungen erwartet, während Weizen eher höhere Erträge haben wird als bislang vorhergesagt. Interessant ist in diesem Kontext auch das Potential, die Erträge durch geeignete Anpassungsmassnahmen wie Aussaatzeitpunkt und Sortenwahl zu stützen (Minoli et al. 2022).

Ein dritter Punkt ist der Anteil tierischer Produkte in der Ernährung. Die FAO nimmt an, dass dieser Anteil im globalen Mittel weiterhin steigen wird. Dies bedeutet, dass weiterhin ein Grossteil der Getreideproduktion für Kraftfutter verwendet wird, und dass grosse Flächen für den Sojaanbau für Kraftfutter oder für Futtermais verwendet werden.

„Die Welt ernähren“ bedeutet also in diesem Kontext ein Ernährungssystem, in dem ein Drittel der Produktion weggeworfen wird oder verloren geht, und in dem ein signifikanter Anteil der Pflanzenproduktion von ackerfähigen Flächen, auf denen also auch direkt Nahrung für die Menschen angebaut werden könnte, als Tierfutter genutzt wird.

3 Wie lautet die Antwort – kann Bio die Welt ernähren oder nicht?

3.1 Erträge und Fruchtfolgen

In einer ersten Reihe von Studien wurde die Antwort aufgrund der Erträge und der Ertragslücke zwischen konventioneller und biologischer Landwirtschaft abzuleiten versucht. Badgley et al. (2007) unternahmen den ersten Review zu der Ertragslücke und fanden eine sehr tiefe Lücke von nur 8% und in Entwicklungsländern sogar signifikant höhere Erträge im Biolandbau als im konventionellen (vgl. Abbildung 4). Diese Studie wurde jedoch heftig kritisiert, einerseits aufgrund der ungeeigneten Auswahl der Vergleichsstudien, die zum Teil nicht vergleichbare Systeme beinhalteten (so waren die Biosysteme in Entwicklungsländern oft gut aufgesetzte Produktionssysteme, die mit nicht optimal aufgesetzten traditionellen konventionellen Systemen verglichen wurden). Auch beinhaltete dieser Review keine eigentliche Metaanalyse, die die Datenqualität der Studien berücksichtigte.

Table 1. Average yield ratio (organic : non-organic) and standard error (S.E.) for ten individual food categories recognized by the FAO¹⁹ and three summary categories. Average yield ratio based on data from 91 studies (see Appendix 1 for data and sources). (A) All countries. (B) Developed countries. (C) Developing countries.

Food category	(A) World			(B) Developed countries			(C) Developing countries		
	N	Av.	S.E.	N	Av.	S.E.	N	Av.	S.E.
Grain products	171	1.312	0.06	69	0.928	0.02	102	1.573	0.09
Starchy roots	25	1.686	0.27	14	0.891	0.04	11	2.697	0.46
Sugars and sweeteners	2	1.005	0.02	2	1.005	0.02			
Legumes (pulses)	9	1.522	0.55	7	0.816	0.07	2	3.995	1.68
Oil crops and veg. oils	15	1.078	0.07	13	0.991	0.05	2	1.645	0.00
Vegetables	37	1.064	0.10	31	0.876	0.03	6	2.038	0.44
Fruits, excl. wine	7	2.080	0.43	2	0.955	0.04	5	2.530	0.46
All plant foods	266	1.325	0.05	138	0.914	0.02	128	1.736	0.09
Meat and offal	8	0.988	0.03	8	0.988	0.03			
Milk, excl. butter	18	1.434	0.24	13	0.949	0.04	5	2.694	0.57
Eggs	1	1.060		1	1.060				
All animal foods	27	1.288	0.16	22	0.968	0.02	5	2.694	0.57
All plant and animal foods	293	1.321	0.05	160	0.922	0.01	133	1.802	0.09

Abbildung 4: Ertragslücke von Badgley et al. 2007

Neuere Metastudien korrigierten diese Fehler (De Ponti et al. 2012, Seufert et al. 2012) und fanden eine Ertragslücke von 20-25%. Ponisio et al. (2014) schliesslich unternahmen eine noch breitere Metaanalyse und versuchte gewisse Abhängigkeiten in den Daten zu berücksichtigen, die die anderen Studien nicht berücksichtigt hatten (z.B. dass beim Vergleich verschiedener Biosysteme mit einem Kontrollsystem die Werte nicht unabhängig sind, wie wenn das Kontrollsystem jeweils auch für jede Biovariante ein eigens wäre). Sie fanden eine Ertragslücke von etwa 20%, aber weniger Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen von Pflanzen (Leguminosen oder Nichtleguminosen, etc.) und zwischen verschiedenen Düngenniveaus, etc. (vgl. Abbildungen 5 und 6).

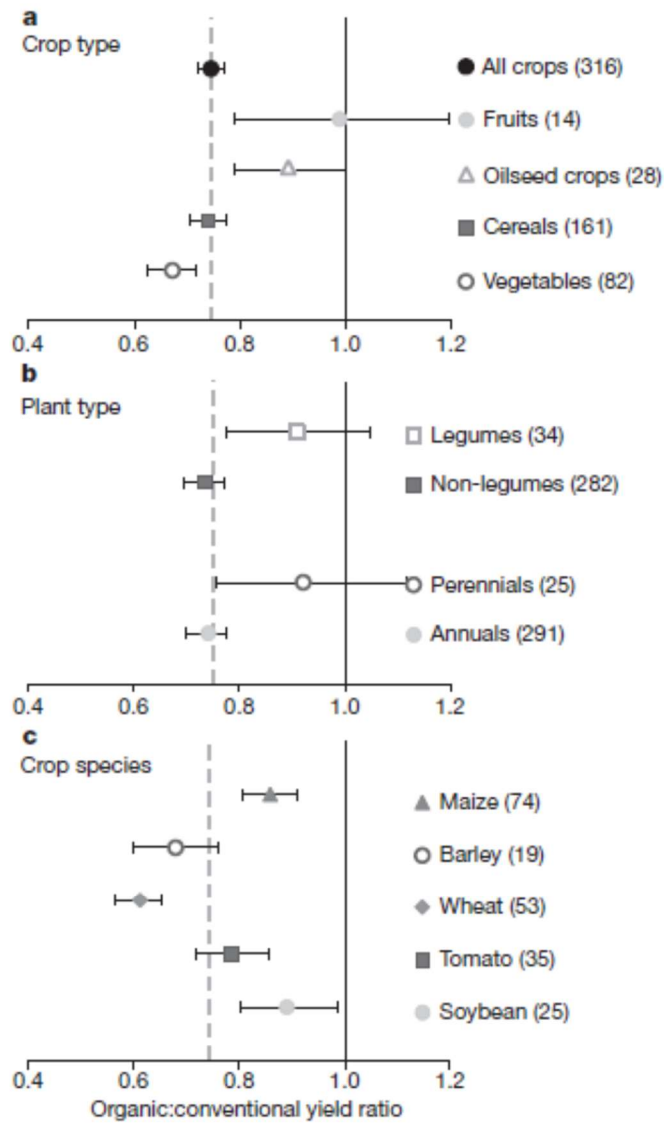


Figure 1 | Influence of different crop types, plant types and species on organic-to-conventional yield ratios. a-c, Influence of crop type (a), plant type (b) and crop species (c) on organic-to-conventional yield ratios. Only those crop types and crop species that were represented by at least ten observations and two studies are shown. Values are mean effect sizes with 95% confidence intervals. The number of observations in each class is shown in parentheses. The dotted line indicates the cumulative effect size across all classes.

Abbildung 5: Ertragslücke von Seufert et al. 2012

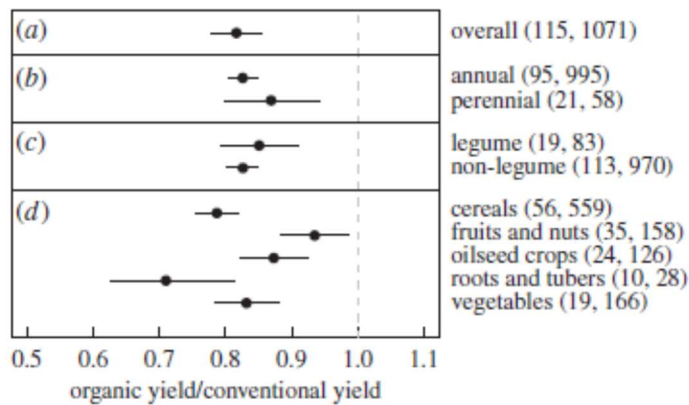


Figure 1. The organic-to-conventional yield ratio of (a) all crops, (b,c) plant types and (d) different crop types. Values are mean effect sizes with 95% credible intervals (i.e. 95% of the posterior distribution). The number of studies and observations in each category are shown in parentheses. Only categories with at least 10 yield comparisons from greater than five studies are shown. Organic and conventional yields were deemed significantly different from each other if the 95% credible interval of the yield ratio did not overlap one. Different levels of explanatory variables were considered to be significantly different if the posterior of the difference between the group means did not overlap zero.

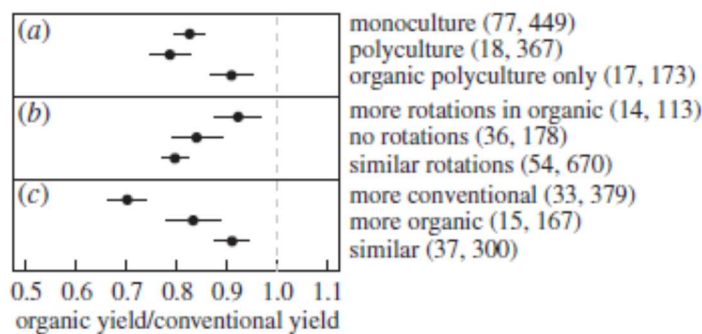


Figure 2. The influence of (a) cropping system, (b) rotation and (c) nitrogen input on the organic-to-conventional yield ratio. Values are mean effect sizes with 95% credible intervals. The number of studies and observations in each category are shown in parentheses.

Abbildung 6: Ertragslücke von Ponisio et al. 2014

In jedem Fall zeigen sich also bei den Studien, die gewisse Qualitätskriterien an die berücksichtigten Vergleiche stellen Ertragslücken von im Schnitt etwa 20%, was als eine Grundlage der Kritik dient, dass eine rein biologische Landwirtschaft viel mehr Land brauchen würde als eine konventionelle und deshalb eine grossflächige Umstellung eine Bedrohung für die Ernährungssicherung und für die Umwelt bedeuten würde.

Eine zusätzliche Kritik kommt jeweils noch daher, dass das Biosystem nicht nur tiefere Erträge für einzelne Kulturen aufweist, sondern auch komplexe Fruchtfolgen mit hohen Anteilen an Leguminosen aufweist (um die genügende Stickstoffversorgung der Kulturen zu gewährleisten) und oft mit solchen Leguminosen, die als Futtermittel und nicht direkt als Nahrungsmittel dienen. Zusätzlich spielt Kunstwiese (mit unterschiedlichen Leguminosenanteilen), die auch nur als Futtermittel genutzt werden kann oft eine wichtige Rolle in den Fruchtfolgen. Dazu wurde 2017 eine systematische Metanalyse publiziert (Barbieri et al. 2017), die zeigt, dass der Leguminosenanteil in den

Fruchtfolgen im Biolandbau im Schnitt etwa 25% beträgt. Im Extremfall kann z.B. ein konventionelles System jedes Jahr Weizen produzieren (mit entsprechend negativen Nebeneffekten), während ein Biosystem mit einer optimalen Fruchtfolge Weizen eher nur alle 2-3 Jahre anbaut und dabei auch noch 20-25% (oder bei Weizen sogar eher 40%) weniger Ertrag hat. Dies bedeutet natürlich einen zusätzlichen grossen Druck auf den Landbedarf der Biosysteme. Dazu muss gesagt werden, dass ein Teil dieser Leguminosen natürlich nicht als Hauptfrucht sondern als Zwischenfrucht angebaut wird, und entsprechend bei den Hauptfrüchten der Anteil an Leguminosen kleiner ist. Weiter muss noch gesagt werden, dass die Fruchtfolge natürlich noch andere Nahrungspflanzen beinhaltet, und das für die Beurteilung gesamter Fruchtfolgen weniger der Ertrag pro Kultur als z.B. der Gesamtertrag an Kalorien oder Protein pro Hektare über die gesamte Fruchtfolge betrachtet werden müsste – inklusive der Kalorien und Proteine, die evtl. noch aus der Nutzung gewisser Fruchtfolgeelemente als Futtermittel stammen. Barbieri et al. (2019) analysieren die aggregierten Effekte der veränderten Fruchtfolgen im Biosystem auf die Produktionsmuster einer globalen biologischen Produktion und quantifizieren so den Rückgang an Kalorienproduktion (total -31%) nicht nur aufgrund der Ertragslücke, sondern auch aufgrund der veränderten Kulturen, die angebaut werden.

3.2 Systemischer Zugang

Um die Frage, ob Bio die Welt ernähren kann oder nicht zu beantworten, muss man unbedingt eine systemische Sichtweise annehmen. Es geht nicht nur darum, die Produktionsseite zu betrachten. Wenn 30% Abfall biologische produziert werden und 40% der Getreideflächen für biologisches Kraftfutter genutzt werden ist das noch kein nachhaltiges Ernährungssystem.

Deshalb muss man eine Umstellung der Produktion immer im Gesamtsystem betrachten und im Kontext anderer möglicher Strategien, wie einer Reduktion der Nahrungsmittelabfälle und -verluste, sowie der Kraftfuttergaben und in Folge der Anteile tierischer Produkte in der Ernährung,

Ein solcher Zugang wurde 2017 für die Umstellung auf biologische Produktion modelliert (Muller et al. 2017). Dabei wurde ein globales Massenflussmodell programmiert (das SOL-Modell), das mit FAOSTAT Produktions-, Handels- und Verbrauchsdaten kalibriert wird. Zusätzlich wurden die Nährstoffflüsse erfasst und daraus eine Reihe von Umweltwirkungen wie Treibhausgasemissionen und Stickstoffüberschüsse abgeleitet. Schliesslich wurde ein besonderes Augenmerk darauf gelegt, die agronomischen Kernaspekte der biologischen Produktion korrekt zu erfassen, wie Leguminosenanteile in den Fruchtfolgen, Stickstoffdüngung ohne Mineraldünger, und die tieferen Erträge. Eine schematische Darstellung des Modells findet sich in Abbildungen 7 (Produktionsseite) und 8 (Ernährungssystem).

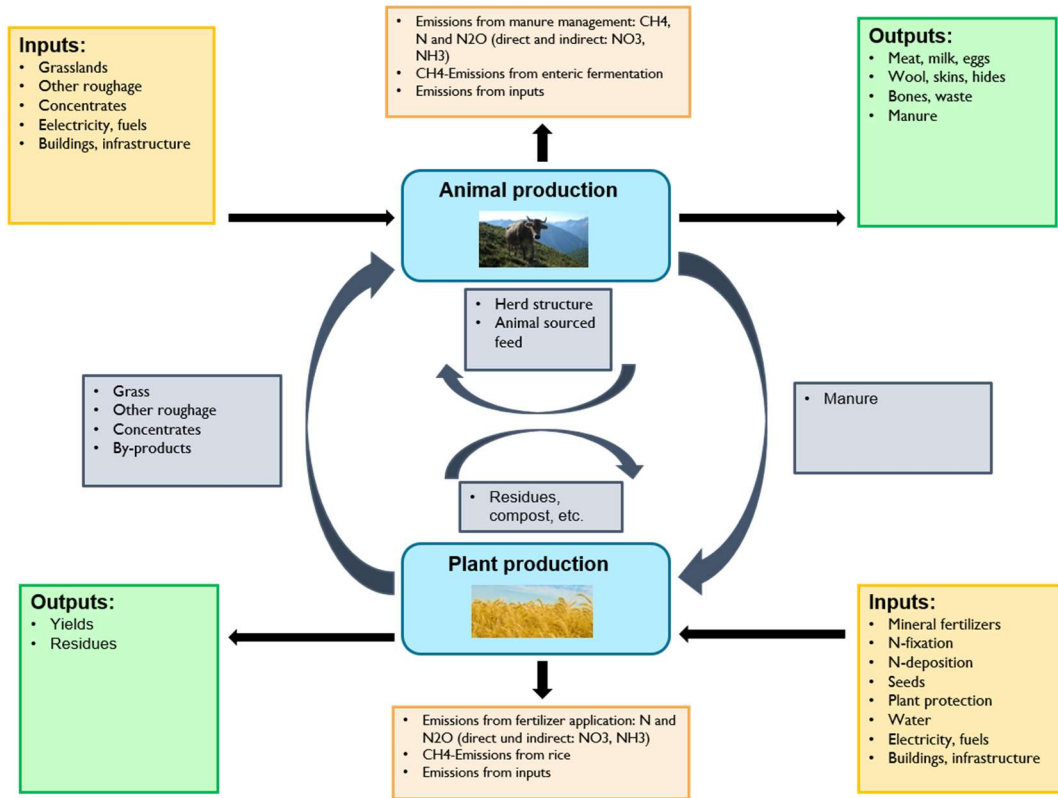


Abbildung 7: SOL-Modell: Produktionsstruktur

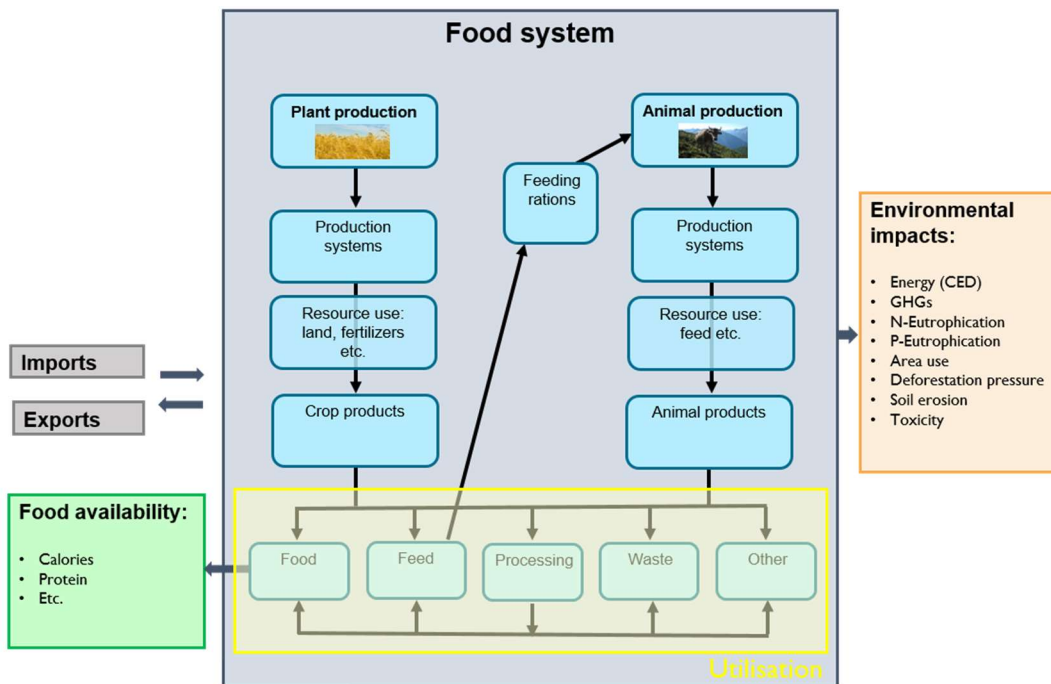


Abbildung 8: SOL-Modell: Ernährungssystemebene

Die Frage der Biolandwirtschaft und Welternährung wurde nun anhand verschiedener Szenarien betrachtet, die nicht nur eine zunehmende Umstellung auf Bio abbilden, sondern eben auch die beiden anderen Aspekte, nämlich eine Reduktion der Nahrungsmittelabfälle und -verluste, sowie der Kraftfuttermittelgaben (genauer: aller mit der Nahrungsproduktion in Konkurrenz stehender Futtermittel, also auch Silomais) thematisieren (und in Folge der Anteile tierischer Produkte in der Ernährung; dabei werden Wiederkäuer nur noch mit Gras gefüttert und Monogastrier (Schweine, Hühner) nur noch mit Nebenprodukten und Abfällen der Nahrungsproduktion, wie Molke, Kleie, Ölpressekuchen, etc.). Die Resultate aus Muller et al. 2017, die nachfolgend in den Abbildungen 9-12 dargestellt sind bilden also die Umweltperformance verschiedener Kombinationen unterschiedlicher Anteile biologischer Produktion, unterschiedlicher Reduktionsraten der Nahrungsmittelabfälle und unterschiedlicher Kraftfuttermittelgaben ab. Sie stellen also dar, wie der sogenannte „Option space“, den man mit diesen Strategien im Prinzip ermöglichen kann in Bezug auf diese verschiedenen Indikatoren zu beurteilen ist und zeigen auf, bei welchen Kombinationen dieser Strategien vielversprechende Szenarien zu finden sind und bei welchen Kombinationen grosse Herausforderungen erwartet werden müssen.

		Climate change impact on yields																	
		Zero						Medium						High					
		% Organic						% Organic						% Organic					
% Wastage reduction	% Reduction in food-competing feed	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
		0	0	0	5	10	17	25	33	21	26	33	40	47	57	46	50	54	58
50	-16		-12	-8	-4	2	8	2	7	10	16	22	27	25	26	29	32	35	40
100	-26		-24	-20	-16	-12	-8	-9	-6	-3	1	5	9	12	13	14	15	17	20
25	0	-6	-1	5	10	18	26	14	20	25	32	40	48	39	42	45	50	56	61
	50	-22	-18	-13	-8	-4	-2	-4	0	5	9	14	21	18	20	22	25	27	32
	100	-30	-27	-25	-21	-17	-13	-14	-11	-8	-5	-1	4	6	7	8	8	10	13
50	0	-11	-7	-1	5	11	20	8	13	18	25	32	40	30	34	38	42	47	53
	50	-25	-23	-19	-14	-9	-4	-9	-6	-2	3	8	14	10	12	15	17	21	25
	100	-35	-32	-29	-25	-22	-18	-19	-17	-13	-10	-7	-3	-1	0	1	3	4	7

Fig. 2 Cropland area change. Percentage change in cropland areas with respect to the reference scenario. Scenarios differ in: organic shares (0-100%), impacts of climate change on yields (low, medium, high), food-competing feed reductions (0, 50, 100% reduced from the levels in the reference scenario), and wastage reduction (0, 25, 50% compared to the reference scenario). Colour code for comparison to the reference scenario value (i.e. 0% organic agriculture, no changes in livestock feed and food waste, dotted grey): > +5%: red, < -5% blue, between -5% and +5% yellow; in the reference scenario, cropland areas are 6% higher than in the baseline today

Abbildung 9: Landbedarf der verschiedenen Szenarien aus Muller et al. 2017

		Climate change impact on yields																	
		Zero						Medium						High					
		% Organic						% Organic						% Organic					
% Wastage reduction		% Reduction in food-competing feed						% Reduction in food-competing feed						% Reduction in food-competing feed					
		0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
0	0	25	21	15	10	4	-3	23	19	14	8	3	-3	21	16	12	7	1	-4
	50	20	16	12	7	2	-4	18	14	10	6	1	-4	17	13	9	4	0	-5
	100	15	11	7	3	-1	-5	13	10	7	3	-1	-5	12	9	5	2	-2	-6
25	0	23	19	14	8	2	-4	21	17	12	7	1	-4	19	15	10	5	0	-5
	50	18	14	10	6	1	-5	17	13	9	5	0	-5	15	11	7	3	-1	-5
	100	13	10	6	2	-2	-6	12	9	5	2	-2	-6	11	8	4	1	-3	-6
50	0	21	17	12	7	1	-5	19	15	10	5	0	-6	17	13	9	4	-1	-6
	50	16	12	8	4	0	-6	15	11	7	3	-1	-6	14	10	6	2	-2	-6
	100	11	8	5	1	-3	-7	10	7	4	1	-3	-7	10	7	3	0	-3	-7

Fig. 3 Nitrogen balance. N-surplus (positive values) or deficit (negative values) in kg N/ha. Scenarios differ in: organic shares (0-100%), climate change impacts (low, medium, high), food-competing feed reductions (0, 50, 100% reduced from the levels in the reference scenario), and wastage reduction (0, 25, 50% compared to the reference scenario). Colour code for comparison to the reference scenario value (i.e. 0% organic agriculture, no changes in livestock feed and food waste, dotted grey): >10 kg/ha: red (unsustainably high), between 10 kg/ha and 5 kg/ha blue (optimum, reduction from current average surplus by 60-80%,^{59, 60}), between 5 kg/ha and -2kg/ha yellow (critical, rather low), < -2 kg/ha orange (deficit)

Abbildung 10: N-Überschüsse der verschiedenen Szenarien aus Muller et al. 2017

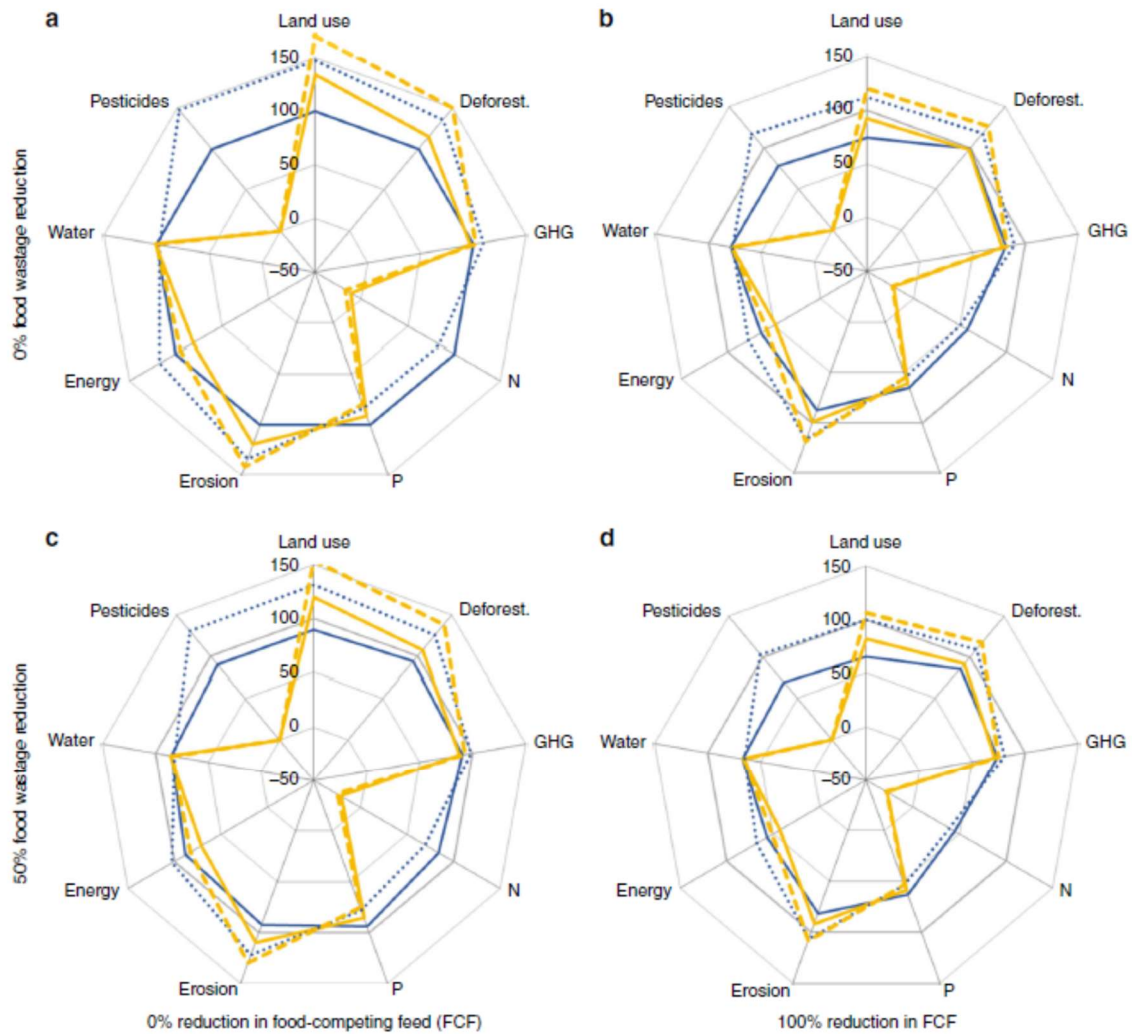
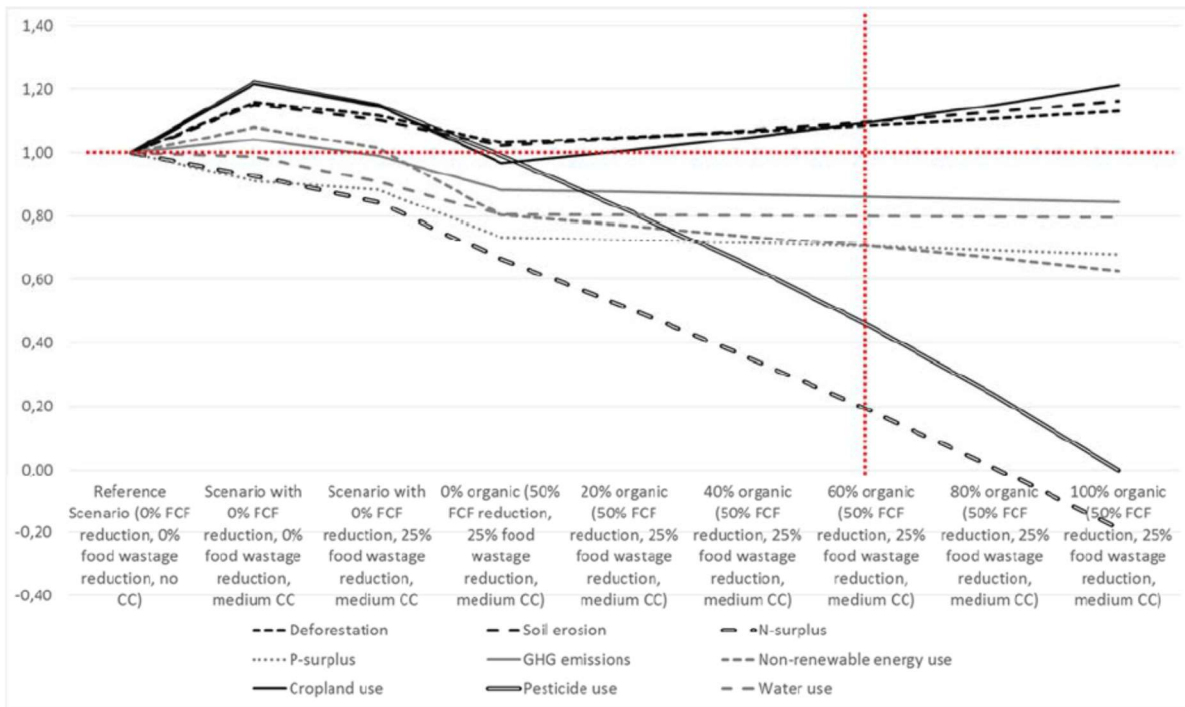


Fig. 5 Year 2050 relative environmental impacts of a full conversion to organic agriculture in combination with complementary food systems strategies. Environmental impacts of organic (100% organic agriculture, yellow lines) and conventional (0% organic agriculture, blue lines) scenarios with concomitant changes in livestock feed and food waste strategies. All scenarios are shown relative to the reference scenario (i.e. 0% organic agriculture, no changes in livestock feed and food waste; dark grey line), with (dotted lines) and without (solid lines) impacts of climate change on yields; Calories are kept constant for all scenarios without food waste reduction. Food-competing feed (FCF) use is at the levels of the reference scenario on the left, **a** and **c**, and changes towards zero FCF use to the right, **b** and **d**; wastage reduction changes from 0%, top **a** and **b**, to 50%, bottom **c** and **d**. Indicators displayed: cropland use, deforestation, GHG emissions (incl. deforestation, organic soils), N-surplus and P-surplus, water use, non-renewable energy use, soil erosion, pesticide use. Results for intermediate scenarios (50% reduction in FCF and 25% food wastage reduction) are displayed in Supplementary Fig. 10

Abbildung 11: Umweltwirkungen der verschiedenen Szenarien aus Muller et al. 2017



Supplementary Figure 12: Relative change of environmental impacts with respect to the reference scenario for increasing shares of organic production. The dotted red horizontal line indicates the level for the reference scenario, the dotted red vertical line indicates the values for 60% conversion to organic agriculture. Calories are kept constant for all scenarios without food wastage reduction; high yield gaps, 50% food-competing feed (FCF) reduction, 25% food wastage reduction and intermediate impact of CC assumed; to the left, for comparison, the scenarios without food-competing feed and food wastage reduction but CC impact, as well as no food-competing feed reduction, 25% food wastage reduction and CC impact are displayed.

Abbildung 12: Was ist ein gangbares Szenario – betreffend aller Umweltimpacts? aus Muller et al. 2017

Für eine weitere Diskussion der Rolle des systemischen Zugangs im Kontext biologische Landwirtschaft und Welternährung und mit einem Fokus auf Klimaschutz und auf die Frage, ob biologische Landwirtschaft klimafreundlich sei verweise ich noch auf den Kommentar zum Artikel von Smith et al. (2019), welchen Sie im Anhang dieses Skripts finden.

Der Systemansatz wird auch ausserhalb der engeren Diskussion zum Biolandbau verfolgt, im Rahmen der «zirkulären Ernährungssysteme». Diese fokussieren darauf, Nährstoffkreisläufe möglichst zu schliessen und Abfälle und Verluste zu minimieren, sowie die vorhandenen Ressourcen in «systemisch konsistenter» Weise zu nutzen. Dies lässt sich anhand der Rolle der Tiere in zirkulären Systemen illustrieren (van Zanten et al. 2019): die Tiere haben darin primär die Aufgabe, Biomasse, die nicht für die menschliche Ernährung geeignet ist in Nahrung umzuwandeln – allen voran ist das also Gras, welches über Wiederkäuer genutzt wird, und Abfälle und Nebenprodukte, die zur Ernährung vom Schweinen und Hühnern dienen können – also genau die Strategie, kein Futter vom Ackerland, das in direkter Konkurrenz zu menschlicher Ernährung steht zu nutzen (im Biolandbau spielt solches aber doch eine gewisse Rolle als wichtiges Glied in der Fruchtfolge, zum Beispiel Futterleguminosen oder Kunstwiesen – aber natürlich in keiner Weise in dem Masse wie heute in der EU oder der Schweiz praktiziert, mit der Verwendung von 60% des Ackerlandes für Futtergetreide, Futtermais und Kunstwiesen).

3.3 Kritik

Es werden verschiedene Kritikpunkte gegen die obenerwähnten Studien vorgebracht. Bei den Ertragsstudien, die auch Schlussfolgerungen zur Welternährung ziehen, wie Badgley et al. 2007 ist es vor allem die Kritik, dass sie die Ertragslücke massiv unterschätze, aufgrund fehlerhafter Auswahl der Vergleichspaare. Zusätzlich argumentiere sie viel zu optimistisch betreffend der Möglichkeiten, off-season Leguminosen anzubauen, da diese oft auch bewässert werden müssen oder zumindest ihren Wasserbedarf sonst irgendwie decken sollten, und dies in vielen Regionen gerade in der Zwischensaison sehr schwierig bis unmöglich sein könne (Connor 2008, 2013).

Ein ähnlicher Kritikpunkt wurde auch gegen Muller et al. 2017 vorgebracht, indem gesagt wurde, dass deren Annahmen mit 20% Leguminosen in der Fruchtfolge viel zu optimistisch seien und dass damit kein Biosystem langfristig gedüngt werden könne. Auch seien die Erträge aus Seufert et al. 2012 bei solchermassen mit Nährstoffen eher unterversorgten Systemen zu optimistisch und die Ertragslücke sei grösser. Dazu sagen Muller et al. 2017, dass die 20% Leguminosen sich auf die Hauptfrüchte beziehen und dass bei den Zwischenfrüchten noch einiges an Leguminosen möglich sei, dass dazu aber die Datenlage viel zu unsicher war, um das zu modellieren (auch wegen dem Wasserbedarf, etc.); aber dass daher noch einiges an N kommen würde. Des Weiteren gelingt es, einiges an Fixierungsleistung im Grasland zu realisieren, was dann eben über die Tierhaltung teils die Pflanzenkulturen düngt – dies hilft, die Stickstoffbilanz zu verbessern. Schliesslich haben Muller et al. 2017 auch explizit betont, dass die N-Versorgung ein Problem werden könnte, und dass unbedingt alle Kreisläufe geschlossen werden sollten, um dem entgegenzuwirken – so sollten also auch zum Beispiel die Nährstoffe im Klärschlamm wieder als Dünger genutzt werden. Zum Thema der Nährstoffverfügbarkeit bzw. Unterversorgung im Biosystem haben Barbieri et al. (2019) eine Studie veröffentlicht, welche diese Thematik im Detail betrachtet und untersucht, welche Erträge mit den vorhandenen Nährstoffen im Biosystem wirklich noch realisiert werden könnten.

Ein Kritikpunkt gegenüber der Studie von Ponisio et al. 2014 wird in Leifeld 2016 gemacht, welcher betont, dass man ja nicht wisse, wie ein System, das vornehmlich biologisch anbaue denn mit dem Krankheits- und Schädlingsdruck umgehen könne. Leifeld 2016 argumentiert, dass die heutigen Biosysteme von einer weitgehend konventionellen Umgebung profitieren, die durch ihren konventionellen Pflanzenschutz auch dafür Sorge, dass der Krankheits- und Schädlingsdruck auf den Biofeldern klein sei und mit biologischen Mitteln bekämpft werden könne. Dies sei dann aber nicht mehr gegeben, wenn die Mehrheit der Flächen biologisch bewirtschaftet würde (vgl. Abbildung 13).

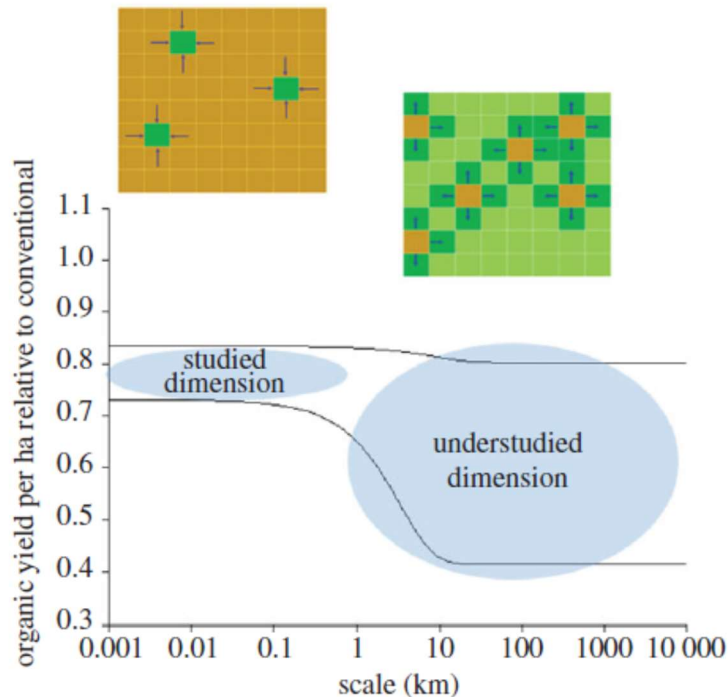


Figure 1. Postulated change in the scale- and intersperse-dependent yield gap. Data evaluated by [4] on the organic-conventional yield gap focused on plot- to farm-scale comparisons, disregarding possible benefits from conventionally managed surrounding areas. For specific crops and conditions, the yield gap may approach zero, but it is 20% on average. With implementation of organic farming as the major farming system at larger scales, the dispersion of organic farms (green) in a conventional (brown) matrix is reversed to the opposite situation (square grids). Nutrient spillover and possible pest regulation effects get smaller, presumably making organic farming yields prone to hitherto undetected yield drops and higher variability. (Online version in colour.)

Abbildung 13: Unterschiede vornehmlich konventioneller und vornehmlich biologischer Systeme auf der Feld-, respektive Landschaftsebene (Leifeld 2016)

Ponisio und Kremen 2016 kontern dies dadurch, dass sie betonen, dass es Studien gibt, die zeigen, dass die Möglichkeiten für Schädlingskontrolle und Bestäuber mit zunehmendem Anteil an Biofeldern steige. Hier muss man ehrlicherweise wohl sagen, dass die Evidenz für die eine oder andere Aussage noch nicht gross genug ist – zum Beispiel ist in dem Argument ja die räumliche Skala ausschlaggebend und ob die als Gegenargument vorgebrachten Studien auf einer genug grossen Skala durchgeführt wurden bleibt unklar. Weiter betonen Ponisio und Kremen, dass die konventionelle Landwirtschaft eben keine Alternative sei, wegen ihrer negativen Umweltauswirkungen. Der wichtige Punkt dabei ist, dass die konventionelle Landwirtschaft eben wirklich keine Alternative ist – dass also das Ernährungssystem wie heute umgesetzt sehr viele Schäden verursacht – und dass eine Umstellung auf Bio ohne weitere Massnahmen eben auch nicht unbedingt die beste Lösung wäre, dazu gleich nachfolgend noch ein paar weitere Gedanken. Wichtig ist es jedenfalls, bei einem vornehmlichen biologischen Anbausystem die Schädlinge und Krankheiten natürlich ganz besonders im Auge zu behalten – und es bedarf auch noch weiterer Forschung, um den Pflanzenschutz im Bioanbau zu verbessern und auch von gewissen schädlichen Substanzen wegkommen zu können (z.B. Kupfer gegen den falschen Mehltau und andere Pilzkrankheiten).

Ein weiterer Kritikpunkt, der insbesondere gegen Muller et al. 2017 vorgebracht wird, ist dass die Szenarien ja weniger die Umstellung auf Bio analysieren, als die Effekte der

Abfallreduktion und der Reduktion von Kraftfutter und dass eine Kombination dieser Abfall- und Kraftfutterreduktionen mit konventioneller Landwirtschaft wegen der höheren Erträge doch eigentlich noch besser sei als die Kombination mit Bio. Hier muss man betonen, dass dies für den Landverbrauch stimmt – aber nicht für andere Indikatoren. Das Biosystem ist leidlich gut entlang vieler Nachhaltigkeitsindikatoren, aber kaum je maximal in einem. Das konventionelle System ist sehr gut beim Landverbrauch, aber anhand einer Reihe anderer Indikatoren schneidet es viel schlechter ab.

Man hat es bei der Frage nach dem Biolandbau und Ernährungssicherung eben unvermeidlich mit Zielkonflikten zu tun. Der Biolandbau ist nachhaltiger in vielen Indikatoren – was man mit einem erhöhten Landverbrauch bezahlt. Und hier kommen die anderen Strategien ins Spiel. Die Abfall- und Kraftfutterreduktion machen das ganze Ernährungssystem kleiner, sodass im Total weniger produziert werden muss. Diese Verminderung öffnet genau den Raum, den es braucht, um signifikante Flächenanteile biologisch zu bewirtschaften – trotz der Ertragslücke. Wenn das ganze System wegen dieser beiden anderen Änderungen weniger Output generieren muss, dann gibt das den Raum, dass die verbleibende Produktion eben extensiver, z.B. biologisch geschehen kann. Klar würde man noch weniger Land brauchen, wenn man das konventionell machen würde, aber dann würde eine Reihe anderer Umweltindikatoren schlechter dastehen. Deshalb ist das Biosystem in Kombination mit der Abfallreduktion und der Kraftfutterreduktion eine nachhaltige Strategie, die entlang aller Indikatoren leidlich gut dasteht. Dabei muss man dann auch nicht in die Extreme gehen und es bedarf nicht einer Umstellung auf 100% Bio – 40% oder 60% führten schon zu massiven Verbesserungen. – Und dann muss auch die Abfallreduktion und die Kraftfutterreduktion nicht ins Extrem getrieben werden. Eine teilweise Umsetzung all dieser drei Strategien zusammen ist eine vernünftige nachhaltige Lösung.

Dabei ist nochmals zu betonen, dass die Kraftfutterreduktion mit einer starken Verminderung des Anteils tierischer Produkte in der Ernährung einhergeht – dies verlangt drastische Veränderungen auf der Konsumseite und gewisse Kritiker haben dies auch als völlig utopisch bemängelt. Aber ich denke, es führt kein Weg daran vorbei. Deshalb ist es auch zentral, bei der Diskussion nachhaltiger landwirtschaftlicher Produktion nicht nur die Produktionsseite alleine zu betrachten – man muss die Konsumseite immer mitdenken und eine umfassende Ernährungssystemperspektive einnehmen, die dies alles zusammen in einem gemeinsamen Kontext betrachtet.

Zur Illustration, wie sehr sich die Kraftfutterreduktion auf den Konsum auswirkt konsultiere man Schader et al. 2015, wo dies gerechnet wurde (vgl. nachfolgende Abbildung 14 – dort wurde nur die Kraftfutterreduktion umgesetzt, keine Umstellung auf Bio oder Abfallreduktion).

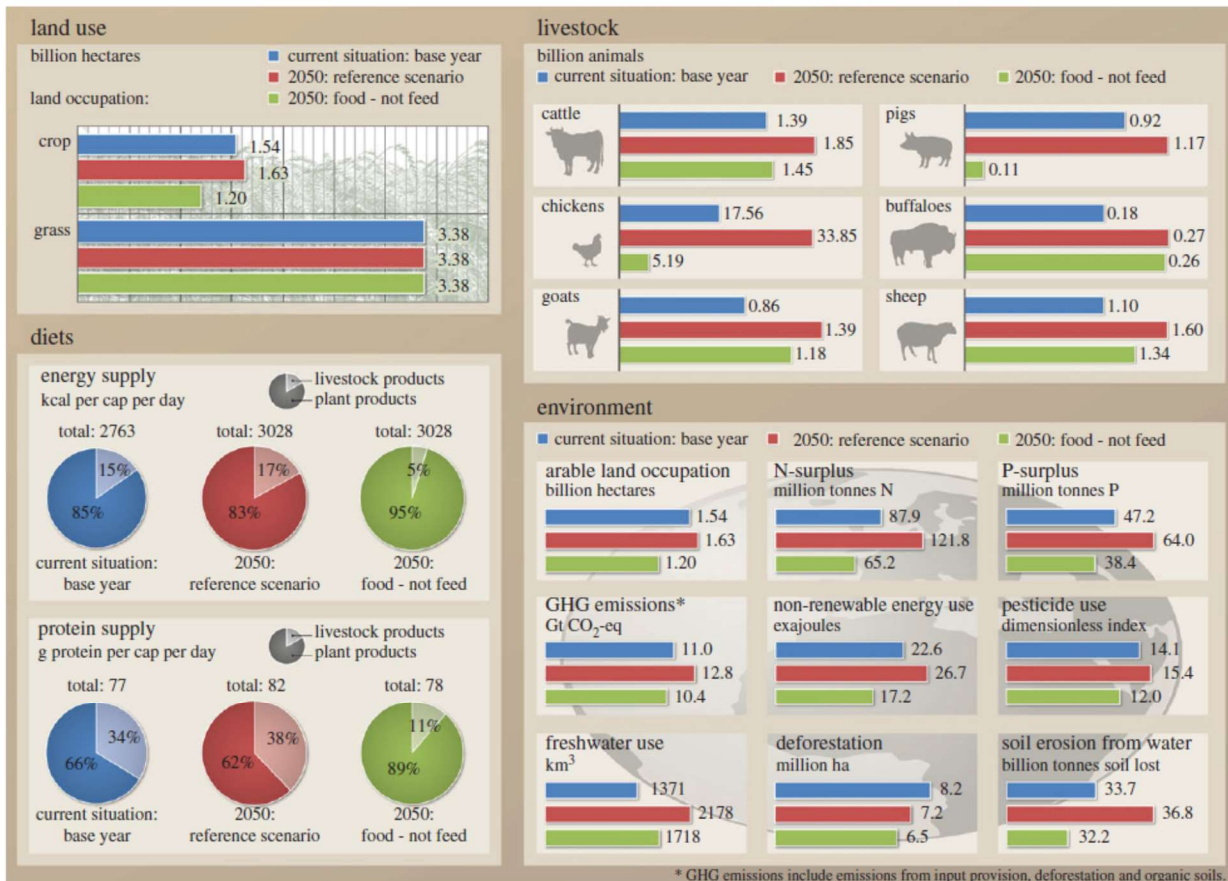


Figure 1. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock ('food - not feed') on land use, livestock numbers, human diets and the environment in 2050.

Abbildung 14: Effekt der Kraftfutterreduktion auf das Angebot tierischer Produkte, Tierzahlen, Umweltimpacts, etc. (Schader et al. 2015)

Wichtig bei diesem Szenario ist es, dass die Kraftfutterreduktion zu einer starken Reduktion der Anzahl Schweine und Hühner (d.h. von Monogastriern) führt, aber weniger bei den Wiederkäuern. Die Wiederkäuer fressen im Szenario nur noch Gras – aber die Graslandflächen sind global gesehen sehr gross und die Anteile von Gras an den Futterrationen sind in vielen Gegenden schon recht hoch – deshalb verändert sich da viel weniger als bei den Monogastriern, die vor allem Kraftfutter fressen und im Szenario nur noch mit Neben- und Abfallprodukten der Nahrungsmittelherstellung (Molke, Kleie, Presskuchen, etc.) gefüttert werden. Dies ist zwar nicht das Kernthema dieser Lektion, aber es ist interessant, dass ein solches System im Total tiefere Treibhausgasemissionen hat, obwohl die Emissionen pro Kilogramm Fleisch noch relativ hoch sind – da Wiederkäuer viel höhere Emissionen haben als Schweine oder Hühner. Ich erwähne und betone dies hier, da dies eine weitere Illustration der Zielkonflikte in nachhaltigen Ernährungssystemen ist: wenn man auf die Treibhausgasemissionen pro Kilogramm Produkt fokussiert, dann stehen Schweine- und Hühnerfleisch besser da als Rindfleisch – wenn es aber darum geht, Ressourcen, die sonst nicht als Nahrung genutzt werden können in Nahrung zu transformieren (nämlich Grasland), dann sind die Wiederkäuer die einzige Möglichkeit. Wenn zugleich die totale Anzahl der Tiere respektive des Anteils tierischer Produkte in der Ernährung genügend reduziert wird, gibt dies den nötigen Raum, um den Rest mit relativ hohen Emissionen pro Einheit Produkt zu produzieren, ohne dass die totalen Emissionen ansteigen.

3.4 Bio und Verarbeitung

Eine Besondere und oft übersehene Herausforderung ans Biosystem rührt schliesslich noch von der Verarbeitung her. Dieses Unterkapitel ist ein kleiner ein wenig

ausführlicherer Exkurs zu dieser Thematik, die ich in der Vorlesung aber nur recht kurz behandle.

Die Modellierung der Frage, ob biologische Landwirtschaft die Welt ernähren kann, basiert auf sehr vielen Annahmen darüber, wie diese Systeme im Durchschnitt funktionieren. Beim Biolandbau besonders relevant sind dazu Annahmen zur Fruchtfolge und Düngung, zum Beispiel dazu, welcher Anteil an Leguminosen für eine ausreichende Stickstoffversorgung nötig ist.

Nun zeigen sich einige Diskrepanzen bei Annahmen, die man aufgrund von reinen Ertragsüberlegungen macht, und der realen Situation, wenn auch Ansprüche der verarbeitenden Industrie und des Handels einfließen – zum Beispiel, dass die Stickstoffdüngung beim Weizen eher höher sein sollte, um gute Klebergehalte und somit eine gute Backqualität in industrialisierten Anlagen zu gewährleisten als wenn man rein von den Erträgen her denkt (vgl. Abbildung 15).

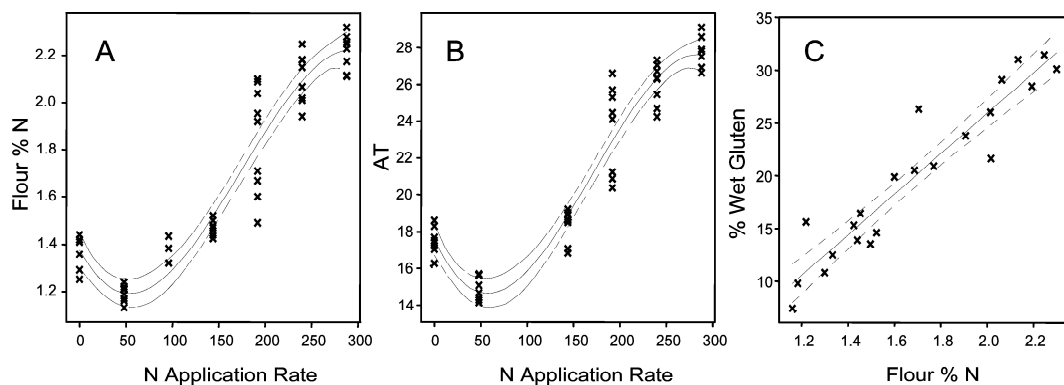


Abbildung 15: Stickstoff und Klebergehalte („Wet Gluten“) in Abhängigkeit der Düngeintensität (Godfrey et al. 2010). Die verarbeitende Industrie verlangt gewisse Mindestgehalte an Kleber im Weizen für eine gute Backqualität. Diese hohen Klebergehalte können nur mit relativ hohen Düngergaben – mehr als eigentlich für die Ertragssicherung in Bio nötig wäre – gewährleistet werden. Weniger homogenisierte und anders organisierte Verarbeitungsprozesse könnten mit Schwankungen in den Klebergehalten und tieferen Gehalten besser umgehen.

Für die Modellierung stellt sich dann die Frage, ob zum Beispiel ein Szenario mit sehr hohen Anteilen an biologischer Produktion auch gleichbleibend hohe Klebergehalte im Weizen gewährleisten muss, oder ob die Annahmen so gewählt werden können, dass eine grössere Heterogenität in den Produkteigenschaften und teils tiefere Klebergehalte zulässig sind. Im ersten Fall würde dies einen höheren Düngerbedarf mit entsprechend höheren Umweltwirkungen bedeuten als aufgrund rein agronomischer Überlegungen zu erwarten wären.

Ein weiteres ähnlich gelagertes Beispiel ist der der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA - Polyunsaturated Fatty Acids) im Schweinefett und die Rolle der Fütterung für diesen Gehalt. Bei biologischer Schweinefütterung werden die von der Industrie verlangten Gehalte tendenziell überschritten, was zu Preisabzügen führt (Früh 2016; Abbildung 16). Die Ursache ist ein schon höherer PUFA-Gehalt in den Futtermitteln, der wegen dem Verzicht auf synthetische Aminosäuren auch schlechter eingestellt werden kann. Es ist in der biologischen Schweineproduktion möglich, bis zu fünf Prozent konventionelles Kartoffelprotein zuzufüttern, was dazu beiträgt, die PUFA-Gehalte tiefer zu halten. Dies führt aber auch immer wieder zu Diskussionen, ob dies nicht untersagt werden sollte, mit dem Ziel 100% Biofütterung zu erreichen, was es dann aber entsprechend herausfordernder machen würde, tiefere PUFA-Gehalte zu erreichen.

Heterogener Anbau versus standardisierte Verarbeitung?

Im Folgenden möchte ich ein paar Gedanken in diesem Spannungsfeld darlegen.

In diesen und weiteren Fällen zeigt sich ein Konflikt zwischen dem, was ein optimaler biologischer Anbau liefern kann und was Verarbeitung und Handel wünschen. Die Grundlage dabei ist die Tatsache, dass standortangepasste Produktion in agrarökologischen Produktionskontexten wie dem biologischen Anbau, - teils noch mit einem Fokus auf Tierwohlaspekte - mit grösseren Schwankungen und Heterogenität einhergeht, während die Verarbeitung und der Handel zunehmend auf standardisierte Prozesse und Produkte setzen und entsprechend immer höhere Ansprüche an gleichbleibende Charakteristika beim Ausgangsprodukt stellen. Dies passt grundlegend nicht zusammen.

Wer muss sich anpassen?

Die Anstrengungen mit diesem Konflikt umzugehen werden derzeit vor allem auf der Produktionsseite unternommen – es wird versucht, die Qualität zu liefern, die die standardisierte Verarbeitung und der Handel wünschen. Aber ist das die richtige Lösung? Könnte man nicht genauso gut fordern, dass Verarbeitung und Handel vermehrt Anstrengungen unternehmen, mit der Heterogenität standortangepasster biologischer Produktion umzugehen?

In den Ernährungssystemmodellen spielen jeweils der Konsum und der Abfall eine wichtige Rolle, und Strategien, die dabei auf eine Reduktion tierischer Produkte und der Abfallmengen abzielen sind umfassend nachhaltig – primär, weil sie das ganze Ernährungssystem verkleinern und somit den Druck, intensiv zu produzieren reduzieren. Ein solcher Druck wird aber auch durch diese Qualitätsvorgaben und Qualitätsansprüche aufgebaut, und diese zu reduzieren würde helfen, das Biosystem anbautechnisch optimaler umsetzen zu können.

Weitere Beispiele dazu sind die Angleichung der Bioproduktion an die Ansprüche, die Konsumenten konventioneller Produkte stellen (Eidotterfarbe, Farbe von Forellenfleisch); oder die Ansprüche an eine Normgrösse von Fleischstücken wie Entrecôte: dies macht es ziemlich unmöglich, Rinder aus der Milchproduktion im Biosystem auf Grasland auszumästen, da dies zu tendenziell grösseren Tieren und somit Fleischstücken führt als der Handel und die Konsumenten derzeit nachfragen; diese Tiere landen deshalb in der konventionellen Produktion, da nur dort die standardisierten Grössen erreicht werden können.

Oft ist das Problem eines der Absatzmärkte. Die Produkte, die den industriellen Ansprüchen nicht genügen lösen signifikant tiefere Erträge auf dem Markt oder finden kaum Absatzkanäle. So werden vermehrt Anstrengungen unternommen, auch für diese Produkte Kunden zu finden. Dies wird aber immer eher eine Nische bleiben, solange diese Heterogenität nicht als normal und als unvermeidlich in einer nachhaltigen standortangepassten Produktion akzeptiert wird.

Dies bedingt dann ein Umdenken auf der Seite der Verarbeitung, des Handels und des Konsums, mit dem Grundsatz, dass eine standortangepasste Produktion auch eine standortangepasste Verarbeitung braucht und nur so grossflächig funktionieren kann. Vielleicht könnte man dabei auch die Chancen all der neuen Technologien dahingehend nutzen, nicht die Heterogenität auf dem Acker besser in den Griff zu bekommen, um gleichbleibende Qualität zu produzieren, sondern um die Standardisierung bei der Verarbeitung zu vermeiden, um mit heterogenen Inputs gute Produkte – die durchaus auch heterogen sein dürfen - zu produzieren.

Wie geht man damit um?

Für ein Fazit zu dieser Thematik schlage ich vor, die folgenden Punkte zu bedenken und vertieft zu diskutieren.

Erstens, wollen wir ein Ernährungssystem das weiter in Richtung Standardisierung auf dem Acker, auf der Weide, im Stall geht, um den Ansprüchen der Verarbeitung und des Handels gerecht zu werden, oder wollen wir in Richtung erhöhter Heterogenität bei der Verarbeitung gehen, um der Heterogenität in der Produktion aus nachhaltigen

Anbausystemen besser Rechnung tragen zu können? Dem Handel kommt dabei eine besondere Rolle zu, agiert er doch auch als Vermittler von realen und vermeintlichen Konsumentenansprüchen an die Verarbeitung und Produktion.

Zweitens verweise ich auf die Aussage, wie sie zum Beispiel von Stephano Cecarelli im Rahmen des EU-Projektes DIVERSIFOOD gemacht wurde, nämlich sinngemäss, dass «standortangepasste Produktion auch eine standortangepasste Verarbeitung brauche».

Drittens ist auch hier die Rolle der Konsumentinnen und Konsumenten zu diskutieren. Wie bei den Modellierungen zu nachhaltigen Produktionssystemen und Ernährungssicherheit, bei denen konsumseitige Veränderungen zentral sind (weniger tierische Produkte, weniger Abfall), ist bei der Verarbeitung und dem was sie produziert die Konsumseite in die Pflicht zu nehmen: müssen wir makellose Ware nachfragen (z.B: bei Äpfeln, s. Abbildung 16), müssen wir gewisse Vorstellungen von Backvolumen und Eigenschaften von Fleisch erfüllen, etc. – woher kommen eigentlich diese Ansprüche und wie legitim sind sie?

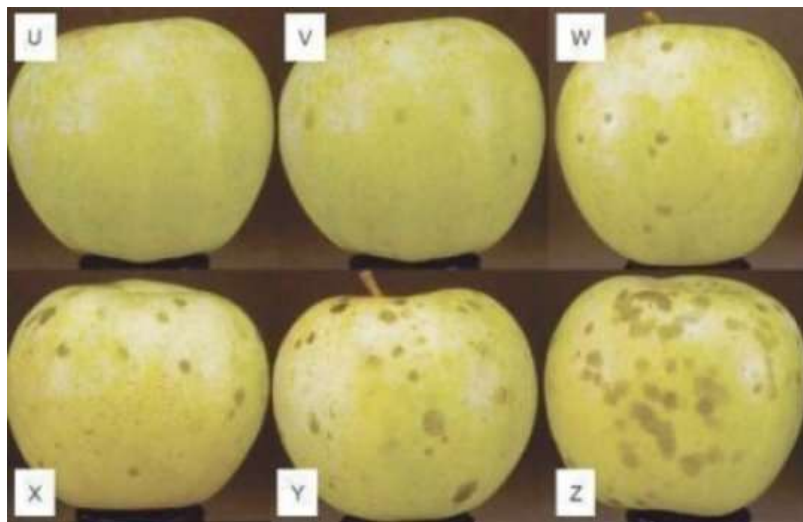


Abbildung 16: Abbildung zu den Versuchen aus Yue et al. (2009) zum Einfluss kosmetischer Fehler auf die Zahlungsbereitschaft für teurere Bioäpfel – aus dem Abstract dieser Studie: „We find that 75% of the participants are willing to pay more for organic than for conventional apples given identical appearance. However, at the first sight of any imperfection in the appearance of the organic apples, this segment is significantly reduced. Furthermore, the cosmetic damage has a larger impact on the willingness to pay for organic apples than for conventional apples.“

Viertens geht es um Kosten. Bei wem die Kosten anfallen ist natürlich zentral – z.B. bei den Produzenten, wenn sie schauen müssen, Vorgaben der Verarbeiter zu erfüllen, oder bei den Verarbeitern, wenn sie denn mit heterogeneren Produkten umgehen können müssten. Um dabei zumindest die wirklichen gesellschaftlichen und nicht nur die privaten Kosten der einen oder anderen Art von Produktion, Verarbeitung und Handel im Blick zu haben ist in jedem Fall eine umfassende Internalisierung externer Kosten nötig.

4 Ist die Frage, ob Bio die Welt ernähren kann überhaupt eine relevante und interessante Frage?

4.1 Eigentlich nicht – die Frage ist eher: Was ist ein nachhaltiges Ernährungssystem?

Wie wir oben gesehen haben, geht es dabei nicht um eine klare Dichotomie „Bio“ versus „konventionell“ – sondern eher darum, welche Kombination verschiedener Strategien ein nachhaltiges Ernährungssystem liefert. So wie es heute organisiert ist, ist es nicht

nachhaltig. Aber wenn man darin einfach nur die Produktion auf Bio umstellt ist es danach auch nicht nachhaltig.

4.2 *Einige Aspekte nachhaltiger Ernährungssysteme*

Ein nachhaltiges Ernährungssystem stellt sich den Zielkonflikten und geht offen mit ihnen um. Es geht darum, entlang aller relevanter Indikatoren leidlich gut abzuschneiden, und viel weniger darum, in einzelnen Indikatoren maximale Leistung zu erbringen.

Ein zentraler Punkt in dieser Diskussion ist die „Schmutz-Schutz-Debatte“ (spare/share debate; z.B. Fischer et al., 2011; Law und Wilson, 2015; Tschardt et al., 2012; Phalan 2018): ist es besser, weniger Flächen intensiv zu nutzen und somit mehr Raum für „unberührte Natur“ und deren Ökosystemdienstleistungen zu haben – oder ist es besser mehr Flächen weniger intensiv zu nutzen und somit mehr im Einklang mit den Ökosystemdynamiken und somit mit höheren Ökosystemdienstleistungen von den genutzten Flächen zu produzieren – dies ist eine ungelöste Kontroverse und vieles deutet darauf hin, dass man beides braucht.

Eine besondere Herausforderung ist die Nährstoffversorgung der Produktion in nachhaltigen Ernährungssystemen. Für den biologischen Landbau ist es klar, dass keine mineralischen Stickstoffdünger verwendet werden dürfen. Aber auf ganz armen Böden, wenn zu wenig organisches Material im System vorhanden ist um akzeptable Erträge zu generieren kann es durchaus Sinn machen, ein wenig Mineraldünger einzusetzen, um die Erträge zu erhöhen und den Aufbau organischer Bodensubstanz zu ermöglichen – ohne dabei den Böden zu schaden. Ist dann ein gutes Niveau an organischem Material im Boden erreicht, dann sollte eine Umstellung auf Bio und ein vollständiger Verzicht auf Mineraldünger möglich sein. Aber es ist wichtig, dass solche Vorschläge in der Diskussion über nachhaltige Ernährungssysteme auch Platz haben. Ein weiterer Aspekt des Verzichts auf Mineraldünger ist die Tatsache, dass dadurch im Biosystem nicht nur die eigentliche Nahrungsmittelproduktion sondern auch die Düngerproduktion auf den Flächen geschieht. Dazu könnte man zum Beispiel auch die Frage aufwerfen, ob das denn die Resilienz beeinträchtigen könnte, da die Auswirkungen des Klimawandels nicht nur die Nahrungsmittelproduktion sondern auch die Düngerproduktion beeinträchtigen könnten.

Besonderes Augenmerk kann man dabei auf die Bioenergie legen. In biologischen Produktionssystemen kann es problematisch sein, Biomasse für energetische Nutzung abzuführen. Die Diskussion des Wettbewerbs um Land und Wasser zwischen Bioenergie und Nahrung wird schon detailliert geführt, aber es gibt noch keine grosse Diskussion zum Wettbewerb um die Biomasse an sich (Muller 2009, 2014). Einen Ausweg bieten Systeme, in denen der Stickstoff nicht verloren geht, und dennoch der Kohlenstoff für die energetische Nutzung abgeführt werden kann. Biogasanlagen funktionieren so: Methan (CH₄) wird für die Energie genutzt, und die Gärückstände haben hohe N-Anteile und sind gute Dünger. Im biologischen System ist aber auch der Eintrag von Kohlenstoff im organischen Material wichtig und es bleibt zu untersuchen, was die vorgängige Biogasnutzung wirklich für die Düngerqualität der Biomasse in Biosystemen bedeutet. Diese Frage der Bioenergie hat mit dem letzten Bericht der IPCC zur Erreichung des 1.5-Grad-Ziels (IPCC 2018) neu an Aktualität gewonnen, da darin Bioenergie mit CO₂-Abscheidung eine zentrale Rolle spielt, ohne dass vertieft betrachtet wurde, ob diese Szenarien denn überhaupt mit nachhaltigen Landwirtschaftssystemen kompatibel wären.

4.3 *Welche Rolle spielen „Natürlichkeit“ und „technologisch-industrielle“ Ansätze?*

Man kann die Diskussion nachhaltiger Ernährungssysteme noch weiter öffnen und sich fragen, welche Rolle darin eigentlich der Aspekt der „Natürlichkeit“ spielt. Oft ist es so, dass nachhaltige Ernährungssysteme auf einer irgendwie „natürlichen“ Produktion abstellen, sei sie biologisch oder von der Agrarökologie inspiriert oder so. Man kann sich aber fragen, ob gut geführte hors-sol Systeme, Vertical Farming Unternehmen,

Aquaponics Produktionssysteme nicht auch sehr nachhaltig sein können, da sie eine viel besser Kontrolle aller Nährstoffflüsse erlauben, die Verluste minimieren können und mit minimalem Landbedarf auskommen (Muller et al. 2017, vgl. Abbildung 17).

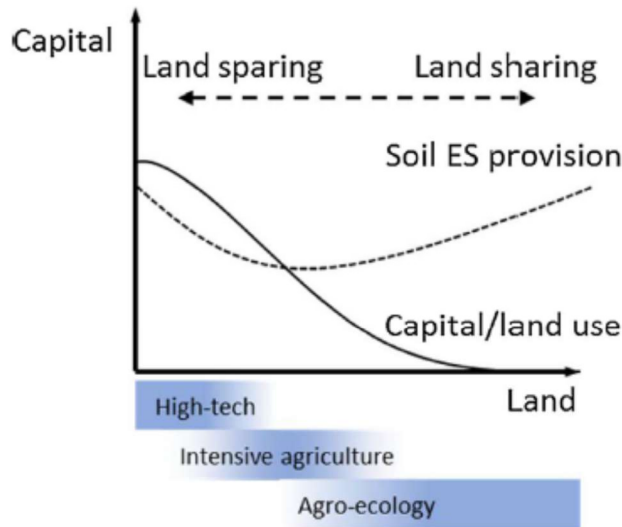


Fig. 1. Schematic representation of the capital-land ratio (solid line) in agricultural production systems to produce one unit of food and the provision of (soil) ecosystem services (ES; dotted line) through land sparing and land sharing approaches (see e.g. (Fischer et al., 2011; Law and Wilson, 2015; Tschamtkle et al., 2012)).

Table 1

Illustrative comparison of high-tech, intensive, and agro-ecology approaches along a range of key-indicators. Data for organic and intensive conventional systems stems from recent meta-analyses; data for vertical farming stem from case studies, in lack of reviews. Agro-ecology covers more than organic production and the latter can also be intensive. However, organic production can serve as a well-researched and established case for agro-ecological approaches. Sources: (Crowder and Reganold, 2015; Gattinger et al., 2012; Lorenz and Lal, 2016; Meier et al., 2015; Reganold and Wachter, 2016; Seufert et al., 2012; Toulaiatos et al., 2016; Tuomisto and Teixeira de Mattos, 2011; Westhoek et al., 2014).

	High-tech (e.g. vertical farming, cultured meat)	Intensive agriculture	Agro-ecology (e.g. organic agriculture)
Yields (index: 1 for intensive agriculture)	10–100 (i.e. highest yields, lowest area use)	1	0.65–0.95 (i.e. lower yields, higher area use)
Soil carbon (t/ha)	soil sealed (but low area use)	low	medium (1 t CO ₂ e/ha/y for closed systems)
Energy use (MJ/ha)	very high (but may use waste heat)	high	low (considerably less energy per area; per product unit from – 50% to + 50%)
Nitrogen loss (tN/ha)	zero (if well designed)	high	lower
Biodiversity	sparse	sparse/share	share; increased biodiversity, but high heterogeneity
Capital requirements (\$/ha)	high	Low-medium	Low

Abbildung 17: Vergleich verschiedener Typen von Produktionssystemen (Abbildung 1 und Tabelle 1 aus Muller et al. 2017)

Zur Nachhaltigkeit solcher Systeme braucht es noch mehr Forschung und aber auch Praxisbeispiele, auch um zum Beispiel die Resilienz solcher Systeme, falls mal eine Krankheit ausbricht oder ein Schädling eindringt zu untersuchen. Wichtig ist es aber, solche Systeme nicht a priori aus der Diskussion auszuschliessen. Es ist oft so, dass im Bio-Kontext oder generell unter Leuten, die sich stark mit Ernährung und Landwirtschaft befassen, eine verzerrte Wahrnehmung dazu herrscht, wie wichtig eigentlich gutes gesundes Essen und seine nachhaltige Herstellung den Bürgerinnen und Bürgern ist, und dass gemeinhin angenommen wird, dies seien wichtige Aspekte des Essens. Ohne dies hier zu belegen wage ich die Hypothese, dass einem Grossteil der Menschen in unserer Gesellschaft die Qualität des Essens und seiner Herstellung am Ende relativ egal sind – und dass der Preis eine zentrale Grösse bei den Kaufentscheiden ist. Falls dies der Fall ist, so kann man sich fragen, ob es Sinn macht, dieses Essen biologisch zu produzieren, oder ob nicht eine industrielle hors-sol-Herstellung viel nachhaltiger wäre. Es gibt Kritik am Geschmack dieser Produkte und auch daran, dass der Boden eine zentrale Rolle bei gewissen Gesundheitsaspekten spiele – das muss man natürlich untersuchen – aber auch hier wieder ohne voreingenommen zu sein.

Die Frage ist also, welche Essen denn eigentlich die Konsumentinnen und Konsumenten wollen – und wie viele davon sich eigentlich überhaupt für diese Fragen interessieren. Je nachdem, wie das in der Gesellschaft aussieht, öffnet dies neue Möglichkeiten nachhaltiger Produktion, die zur Zeit in gewissen Kreisen eher mit Denkblockaden belegt sind. Wenn man sich auf diese Diskussion einlässt, dann kommt man auch nicht umhin, darüber nachzudenken, was eigentlich ein landwirtschaftlicher Betrieb ist, und was der Bauer tut – denn diese Produktionssysteme erinnern eher an Industrieanlagen als an Bauernhöfe und die Betriebsleiter sind eher Ingenieure als Landwirte.

5 Wie setzt man dies alles um?

Das ist die grosse Frage, und wie man von solchen Resultaten zu Handlungen kommt – gerade auch auf der Konsumseite - werde ich nicht beantworten können. Aber im Folgenden seien noch ein paar weitere Überlegungen angefügt. Zuerst zu der Frage, weshalb denn eigentlich solche Massenflussmodelle, wie oben beschrieben in dieser Diskussion wichtig sind und dann noch zur Frage, was die Rolle vom Biolandbau in der weiteren Diskussion um nachhaltige Ernährungssysteme und in der damit verbundenen gesellschaftlichen Diskussion sein könnte.

5.1 Die Rolle von solchen Massenflussmodellen in dieser Diskussion

Solche Massen- und Nährstoffflussmodelle informieren über den Raum der Möglichkeiten («Option Space»), der sich für das Ernährungssystem ergibt, wenn verschiedene Strategien verfolgt werden. Dieser Raum wird dabei biophysikalisch und agronomisch bestimmt, aber explizit nicht aufgrund ökonomischer Überlegungen.

Diese Modelle können die systemischen Zusammenhänge und insbesondere Zielkonflikte und Synergien in ihrer ganzen Komplexität erfassen (zumindest soweit Daten und Informationen über die Zusammenhänge vorliegen, diese Komplexität im Modell abzubilden) und ergänzen somit andere Nachhaltigkeitsanalysetools, wie LCA, oder auch SMART, etc. – Sie ergänzen also insbesondere die Nachhaltigkeitsanalyse auf Feld-, Produkt- oder Betriebsebene um eine dezidiert systemische Herangehensweise.

Die Ziele der Modellierung sind vielgestaltig, aber im Vordergrund steht oft die Illustration und Analyse alternativer Ernährungssysteme, die stark von der heutigen Situation abweichen, und wie diese anhand verschiedener Umweltindikatoren zu beurteilen sind. Ein weiteres Ziel ist es dann, diesen Möglichkeitsraum anhand extremer Szenarien auszuloten und zu identifizieren, welche Kombinationen von Strategien umsetzbar sein könnten und wo sich welche Art von besonderen Herausforderungen ergeben könnte. Im Zentrum stehen also oft die Analyse der „physischen Machbarkeit“ und der Umweltwirkungen der verschiedenen Szenarien, und zentral ist dabei immer, wie schon erwähnt, das Erfassen und Analysieren von Zielkonflikten und Synergien.

Schliesslich ist es wichtig zu betonen, dass die Resultate solcher Modellierungen immer sehr aggregiert vorliegen und grobe Richtwerte geben; ob etwas um 19%, 20% oder 23% ändert ist dasselbe, aber ob es um 10% oder 50% oder 85% ändert macht einen Unterschied. Und es sei auch nochmals betont, dass diese Modelle insbesondere keine ökonomische oder institutionelle Analyse liefern – dazu können sie keine Aussagen machen. Der Vorteil davon ist aber, dass sie eben weit von heute beobachteten ökonomischen Gleichgewichtspunkten agieren können und so auch „unrealistische“ Extremszenarien zu betrachten erlauben, während bei ökonomischen Modellen immer die Gefahr besteht, dass man jede Analysegrundlage verliert, wenn man sich zu weit vom Gleichgewicht auf das kalibriert wurde entfernt, da man zum Beispiel keine Informationen hat, wie sich die Preise und Angebot und Nachfrage in Extremen ändern würden, da man insbesondere nicht weiss, welche Preis-Elastizitäten in solchen Extremen zu verwenden wären. Insofern sind die Szenarien der Massenflussmodelle nicht realistisch, da oft eher nicht mit ökonomischen Einschränkungen kompatibel – aber sie

zeigen zumindest schon mal auf, was unter welchen biophysikalischen und agronomischen Bedingungen und Annahmen machbar wäre und welche Auswirkungen es hätte. Wenn man dann zum Beispiel sähe, dass das 100% auf Bio umgestellte System um eine Größenordnung zu wenig Stickstoff beinhalten würde, dann weiss man, - egal, was die Ökonomie noch sagt, - dass man da offenbar unerwartet grosse Probleme haben würde und es nicht machbar scheint; wie wir aber nun finden, dass die N-Versorgung zwar herausfordernd aber nicht unmöglich wird, wissen wir, dass es zumindest biophysikalisch und agronomisch im Prinzip gehen würde, dass aber ein besonderes Augenmerk auf diesem Aspekt und woher noch zusätzlicher Stickstoff kommen könnte liegen sollte.

Diese ganzen Anstrengungen zur Modellierung der Ernährungssysteme sind wichtig, da sie helfen, sich gegen die Dominanz des Effizienzdenkens und der Ertragsdiskussion zu wehren. Sie tragen auch konstruktiv zu diesem Diskurs bei und bieten neue Ansätze, um landwirtschaftliche Produktionssysteme zu vergleichen und die Nachhaltigkeit von Ernährungssystemen zu analysieren, und dabei die Chancen und Risiken verschiedener landwirtschaftlicher Produktionssysteme in einen weiteren Kontext zu stellen. Schliesslich hilft es auch, sich der Stärken und Schwächen verschiedener Zugänge bewusst zu werden und trägt so dazu bei, zwischen den verschiedenen Ansätzen zu vermitteln und den Dialog zu fördern und gegen unproduktive Grabenkämpfe und starre Frontlinien und Ideologien zu argumentieren.

5.2 Die Rolle von Bio in nachhaltigen Ernährungssystemen

Der Biolandbau kann in dieser Diskussion die Rolle einer Blaupause, eines „Leuchtturms“ oder eines Vorreiters einnehmen. Er muss bei Weitem nicht zu 100% die ganze Nahrungsversorgung liefern – aber er kann als sehr gut dokumentiertes und institutionalisiertes Beispiel nachhaltiger Landwirtschaft eine Vorreiterrolle einnehmen, um zu zeigen, wie nachhaltige Landwirtschaft gehen kann – ohne dabei die kritischen Aspekte zu verleugnen (vgl. Abbildung 18). Wenn der Anteil von Bio dabei zunimmt – umso besser. Aber wenn dadurch vor allem die konventionelle Landwirtschaft als Ganzes besser wird, dann ist auch schon viel erreicht; so hat Bio auch IP inspiriert, und in der Klimaminderungsdiskussion werden plötzlich Kernpraktiken des Biolandbaus wie organische Düngung, optimierte Fruchtfolgen mit Leguminosen, etc. für alle Anbausysteme nahegelegt, da sie die Bodenkohlenstoffbindung fördern. Wichtig ist natürlich immer noch, dass es gesetzliche Richtlinien gibt, die die negativen Auswüchse beschränken und wenn da die Latte höher gelegt wird dient das natürlich auch der Nachhaltigkeit. Und als viertes muss natürlich der Konsum mitspielen und nachhaltig produzierte Nahrungsmittel nachfragen; dies ist ein wichtiger Treiber für eine weitere Verbreitung entsprechender Anbausysteme und für eine weitere Verbesserung der Durchschnittsproduktion.

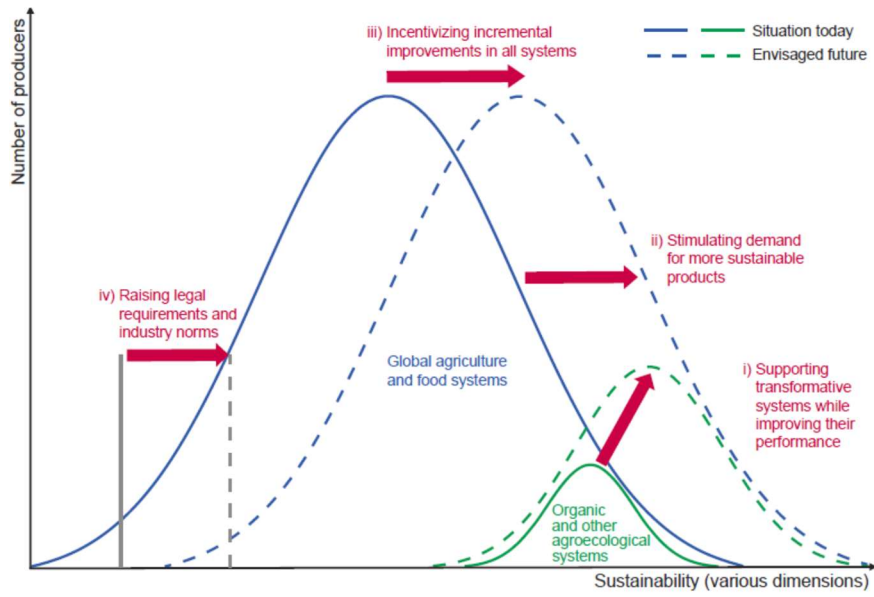


Abbildung 18: Die Rolle von Biolandbau im Ernährungssystem (Eyhorn et al. 2019).

6 Fazit

“Effizienz” (Leistung/Impact pro Produkteinheit) ist wichtig, aber es ist auch zentral, sich um “Suffizienz” (die Gesamtgrösse des Systems; Konsumreduktion) zu bemühen, und “Konsistenz” (ein systemisch optimaler Ressourceneinsatz: z.B. Gras für Wiederkäuer) trägt auch wesentlich zu gangbaren Lösungen bei. Deshalb ist die Ertragslücke nicht so wichtig. Wir müssen darauf hinarbeiten, entlang aller Indikatoren leidlich gut sein, und nicht versuchen bei einem oder zwei davon maximal zu sein (und bei den anderen dann schlecht). Und es ist wichtig nicht nur auf die relative Umwelt-Leistung (z.B. in Form von „Fussabdrücken“) zu fokussieren, sondern auch auf die aggregierten Gesamt-Impacts. Deshalb kann eine Kombination der drei beschriebenen Strategien (Bio, Kraftfutterverzicht, Abfallreduktion) ein nachhaltiges Ernährungssystem bedeuten, obwohl die Emissionen pro Kilogramm Produkt bei den Tieren höher sind als in anderen Systemen (da z.B. graslandbasierte Wiederkäuerproduktion pro Einheit Produkt höhere Emissionen hat als intensive Pouletmast) – vgl. die Abbildungen 1 (Performance pro Fläche und Produkteinheit) und 11 (aggregierte Performance).

Wir brauchen die Ernährungssystemperspektive, nur die Nachhaltigkeit der Produktion anzuschauen ist nicht genug, der Konsum ist zentral. Wir vernachlässigen sonst zentrale Handlungsoptionen (Reduktion der Gesamtgrösse des Systems, was z.B. den Raum für extensivere (z.B. biologische) Produktion gibt) und die Risiken von Verlagerungseffekten («Leakage») sind gross (wenn z.B. ein Land auf Bio umstellt und die Ertragsminderung durch Importe ersetzt statt durch veränderte Konsumgewohnheiten). Deshalb muss ein zentraler Fokus auf dem Konsum liegen.

Mit dieser Einstellung „kann Bio die Welt ernähren“ und das sieht dann so aus: Die Umstellung auf Bio braucht mehr Land und die N-Verfügbarkeit ist eine Herausforderung. Aber die Kombination von Umstellung auf Bio, weniger Kraftfutter und Abfallreduktion ist vielversprechend: keine Massnahme alleine muss die Probleme lösen, keine muss zu 100% umgesetzt werden, und es werden genügend Kalorien und Proteine produziert. Zirkuläre Ernährungssysteme sind dabei ein wichtiger Leitgedanke. In diesen werden Verluste minimiert, Nährstoffkreisläufe möglichst geschlossen, und die Tiere werden mit Biomasse, die für die menschliche Ernährung nicht geeignet ist gefüttert (Gras, Neben- und Abfallprodukte).

Weiter müssen wir uns immer wieder fragen, was nachhaltige Landwirtschaft eigentlich ist. Insbesondere ist es dabei wichtig, über “Natürlichkeit” und welche Rolle diese in der nachhaltigen Landwirtschaft spielt nachzudenken. Man darf nie aufhören über diese Begriffe nachzudenken und sie immer wieder kritisch zu hinterfragen.

Ernährungssystemmodelle helfen dabei, die Informationen zusammenzutragen und den systemischen Aspekten Nachachtung zu verschaffen. Sie ergänzen LCA, SMART und andere Ansätze, die auf die Feld-, Produkt- oder Betriebsebene fokussieren.

7 Literatur

- Asseng, S. et al. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim. Change* 5, 143-147, doi:10.1038/nclimate2470 (2015).
- Badgley, C. et al. Organic agriculture and the global food supply. *Renew. Agric. Food Syst.* 22, 86–108 (2007)
- Barbieri, P., Pellerin, S. & Nesme, T. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. *Scientific Reports* 7: 13761 | DOI:10.1038/s41598-017-14271-6 (2017)
- Barbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V., Nesme, T., 2019, Changes in crop rotations would impact food production in an organically farmed world. *Nature Sustainability* 2: 378–385
- Barbieri, P., Pellerin, S., Seufert, V., Smith, L., Ramankutty, N., Nesme, T., 2021, Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability, *Nature Food* 2: 363-372
- Challinor, A. J. et al. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Clim. Change* 4, 287-291, doi:10.1038/nclimate2153 (2014).
- Connor, D. J. Organic agriculture cannot feed the world. *Field Crops Research* 106, 187-190, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2007.11.010 (2008).
- Connor, D. Organically grown crops do not a cropping system make and nor can organic agriculture nearly feed the world. *Field Crops Research* 144, 145-147 (2013).
- Crowder, D. W., & Reganold, J. P. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7611-7616.
- de Ponti, T., Rijk, B. & van Ittersum, M. K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108, 1-9 (2012).
- Eyhorn, F., Muller, A., Reganold, J., Frison, E., Herren, H., Luttikholt, L., Müller, A., Scialabba, N., Seufert, V., Smith, P., 2018, Organic farming drives sustainability in global agriculture, Opinion Article forthcoming in *Nature Sustainability*.
- FAO 2018, The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. (FAO, Rome. 224 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO).
- FAO 2012, Alexandratos, N. & Bruinsma, J. *World Agriculture Towards 2030/2050. The 2012 Revision.* (FAO, Rome, 2012).
- Fischer, J., Batáry, P., Bawa, K.S., Brussaard, L., Chappell, M.J., Clough, Y., Daily, G.C., Dorrough, J., Hartel, T., Jackson, L.E., Klein, A.M., Kremen, C., Kuemmerle, T., Lindenmayer, D.B., Mooney, H.A., Perfecto, I., Philpott, S.M., Tschardtke, T., Vandermeer, J., Wanger, T.C., Von Wehrden, H., 2011. Conservation: limits of land sparing. *Science* 334 593-593
- Früh, B., 2016, Bioschweinefleisch: zwischen anspruchsvoller Produktion und Abzügen, *Bioaktuell* 1 2016, p18.
- Godfrey, D., Hawkesford, M., Powers, S., Millar, S., Sherwry, P., 2010, Effects of Crop Nutrition on Wheat Grain Composition and End Use Quality, *J. Agric. Food Chem.* 58, 3012–3021, DOI:10.1021/jf9040645
- Sanders, J., Hess, J. (eds), 2019, *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft.* Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 65, DOI:10.3220/REP1547040572000
- HLPE (2019). *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition.* . Rome, High Level Panel of

Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security (HLPE)

IFOAM 2018, Organic basics – What is organic? <https://www.ifoam.bio/en/our-library/organic-basics>.

IPCC 2018, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Jägermeyr, J., et al., 2021, Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models, *Nature Food* 2: 873-885

Law, E.A., Wilson, K.A., 2015. Providing context for the land-sharing and land-sparing debate. *Conserv. Lett.* 8, 404–413

Leifeld J. 2016 Current approaches neglect possible agricultural cutback under large-scale organic farming. A comment to Ponisio et al. *Proc. R. Soc. B* 283: 20151623. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.1623>

Minoli, S., Jägermeyr, J., Asserig, S., Urfels, A., Müller, C., 2022, Global crop yields can be lifted by timely adaptation of growing periods to climate change, *Nature Communications* 2022(13): 7079

Muller, A., 2014, Sustainable Farming of Bioenergy Crops. In: Gupta, V. Tuohy, M., Kubicek, C., Saddler, J. and Xu, F., *Bioenergy Research Advances and Applications*, Elsevier

Muller, A., 2009, Sustainable Agriculture and the Production of Biomass for Energy Use, *Climatic Change* 94(3-4): 319-331

Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K.-H., Smith, P., Klocke, K., Leiber, F., Stolze, M., Niggli, U., 2017, Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture, *Nature Communications* 8:1290 | DOI: 10.1038/s41467-017-01410-w

Muller, A., Ferré, M., Engel, S., Gattinger, A., Holzkämper, A., Huber, R., Müller, M., Six, J., 2017, Can soil-less crop production be a sustainable option for soil conservation and future agriculture? *Land Use Policy* 69: 102-105

Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K. & Fader, M. *Climate Change Impacts on Agricultural Yields*. (Potsdam Institute for Climate Impact Research PIK, 2010).

Müller, C. & Robertson, R. D. Projecting future crop productivity for global economic modeling. *Agricultural Economics* 45, 37-50, doi:10.1111/agec.12088 (2014).

Phalan, B., 2018, What have we learned from the land sparing-sharing model? *Sustainability* 10(6), doi:10.3390/su10061760

Ponisio, L. C. et al. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 282 (2014).

Ponisio LC, Kremen C. 2016 System-level approach needed to evaluate the transition to more sustainable agriculture. *Proc. R. Soc. B* 283: 20152913. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.2913>

Porter, J. R. et al. in *Climate Change 2014, Contribution of the WG II to the 5th Assessment Report of the IPCC* (eds C B Field et al.) (Cambridge University Press, 2014).

- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, 15221.
- Seufert, V. and N. Ramankutty (2017). "Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture." *Science Advances* 3(3).
- Schader, C. et al. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. R. Soc. Interface* 12, 20150891 (2015).
- Seufert, V., Ramankutty, N. & Foley, J. A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, 229–232 (2012)
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., Whitbread, A., 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv.* 151, 53–59
- Van Zanten, H., van Ittersum, M., de Boer, I., 2019, The role of farm animals in a circular food system, *Global Food Security* 21: 18-22
- Yue, C., Alfnes, F., Jensen, H., 2009, Discounting Spotted Apples: Investigating Consumers' Willingness to Accept Cosmetic Damage in an Organic Product, *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41(1),29-46

8 Anhang

Nachfolgend finden Sie einen Kommentar zu der Studie Smith et al. (2019), die sich insbesondere mit der Frage befasst, ob biologische Landwirtschaft klimafreundlich sein kann oder nicht.

Comments on Smith et al. 2019

Some short answers to questions raised by the Science Media Center SMC on Smith et al. (2019) “The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods”, Nature Communications, 10:4641; <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12622-7>

The following is identical to the contribution published on <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/research-in-context/>. Currently, it is available in German only. If needed you may just run them through [deepl.com](https://www.deepl.com/translator) (<https://www.deepl.com/translator>). A caveat is in place: I put them together at very short notice and very fast –they are thus done quite “quick and dirty”. In the answers, I repeatedly refer to Muller et al. 2017 (die volle Referenz dazu finden Sie im Literaturverzeichnis oben).

1. Wie beurteilen Sie die Methodik der Studie?

ANTWORT: Die Methodik ist gut. Kritisieren kann man teils gewisse Annahmen – z.B. mit welcher Art Leguminosen die biologischen Fruchtfolgen umgesetzt werden. Da scheint es sich vor allem um Futterleguminosen/Klee gras zu handeln, und viel weniger um für die menschliche Ernährung geeignete Hülsenfrüchte, die aber auch in den Fruchtfolgen Platz finden könnten.

2. Inwiefern bestätigt sie bereits bestehendes Wissen bzw. widerspricht bisherigen Erkenntnissen?

ANTWORT: Die Studie bestätigt bisheriges Wissen. Allfällig teils auch widersprüchlich erscheinende Resultate lassen sich auf unterschiedliche Annahmen zurückführen, z.B. darüber, wieviel Reduktion an Abfällen und Kraftfutter/Futtermais angenommen wird. Die Szenarien von Smith et al. bleiben dabei recht nah am Business-as-usual, während einige Szenarien in Muller et al. 2017 z.B. von einer starken Reduktion der Kraftfuttermittel und von Futtermais (von allem Food-competing-feed) und Abfällen und Verlusten ausgehen. Bei den reinen Bioszenarien (ohne zusätzliche Strategien wie Abfallvermeidung und konsequente Kraftfuttermittelreduktion) ist der Landbedarf bei Smith et al. recht hoch – dies spiegelt die vergleichsweise hohen Erträge im konventionellen System wieder (dies wird auch in der Studie betont). Bei einer globalen Modellierung wie z.B. in Muller et al. 2017 sind aber auch Länder mit tieferen Ertragsniveaus abgedeckt, bei denen die Unterschiede dann kleiner wären.

3. Was fügt die Studie dem bestehenden Wissen Neues und Wichtiges hinzu?

ANTWORT: Sie liefert eine sehr detaillierte Analyse für ein Land und zeigt dort konkret die besonderen Herausforderungen auf. Ein wichtiger Punkt sind auch die Anzahl Flächen, die in den Fruchtfolgen unter Futterleguminosen stehen. Da gibt es teils grosse Ungewissheiten, was wo möglich wäre, insbesondere für Zwischenkulturen – je nachdem, was hier angenommen wird würde der Flächenbedarf auch wieder tiefer ausfallen.

4. Die Autoren betonen zum Beispiel, dass bisherigen Studie zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der Emissionen pro Tonne produziertem Nahrungsmittel gekommen sind. Liefert diese Studie ,nur‘ einen weiteren Beitrag in dieser Diskussion oder ist sie entscheidend für die bisherige Debatte?

ANTWORT: Sie liefert detaillierte Berechnungen, deren Resultate aber teils von der Situation in England/Wales abhängen und somit nicht generell vergleichbar sind (z.B. dass zusätzliche Leguminosen v.a. auf schweren nassen Böden angebaut werden). Sie ist

somit nicht entscheidend, zeigt aber beispielhaft auf, wie man sowas gut in einem nationalen/regionalen Kontext rechnen sollte.

5. Inwiefern ist es denkbar, die Nahrungsmittelversorgung trotz geringerer Erträge zu großen Teilen aus dem Ökolandbau sicherzustellen, wenn etwa die Verschwendung von Nahrungsmitteln oder der Fleischkonsum reduziert würde?

ANTWORT: Das ist ein Kernaspekt, der meiner Meinung nach zu kurz kommt. Da hätte die Studie noch vermehrt die Annahmen zum Produktions- und Konsumniveau diskutieren können. Dies ist genau der Ansatz, der in Muller et al. 2017 und weiteren Studien verfolgt wird und zeigt, dass eine Umstellung auf Bio in Kombination mit diesen weiteren Strategien das Potential hat, die Ernährung sicherzustellen, und zwar bei tieferem Landbedarf und tieferen Treibhausgas(THG)-Emissionen als das entsprechende konventionelle Referenzszenario mit hohen Abfallanteilen und hohem Konsum an tierischen Produkten.

6. Inwiefern ist dies überhaupt ökologisch und gleichzeitig nachhaltig möglich, wenn durch Ökolandwirtschaft die Treibhausgasemissionen steigen?

ANTWORT: siehe oben – es geht darum, nicht nur über nachhaltige Produktion zu sprechen, sondern immer das gesamte Ernährungssystem und also insbesondere auch den Konsum im Auge zu haben. Beim Konsum sind dann die zentralen Aspekte die Abfälle und die Anteile tierischer Produkte in der Diät. Wichtig ist auch, dass eine Nachhaltigkeitsbeurteilung mehr als „nur“ Landnutzung und THG umfasst. Es geht dabei auch um Stickstoff- und andere Nährstoffüberschüsse, um Toxizität, um Erosion und Bodendegradation, etc. Dies ist insbesondere im Kontext der Klimaverhandlungen wichtig – man darf sich dadurch nicht dazu drängen lassen, die Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft primär über THG-Emissionen zu erfassen - dies ist nur ein Indikator unter vielen. Der Ökolandbau ist ein System, das das Potential hat bei grossflächiger Umsetzung in Kombination mit den Konsumseitigen Strategien in einer Reihe von Nachhaltigkeitsindikatoren leidlich gut abzuschneiden – wenn auch in keinem am besten. Insofern ist das konventionelle System betreffend Landnutzung immer besser als das biologische – aber wenn man die anderen Indikatoren dazu nimmt, dann liefert der Biolandbau eher ein umfassend nachhaltiges System als der konventionelle (s. z.B. Muller et al. 2017).

7. Die Annahme einer kompletten Umstellung der landwirtschaftlichen Produktion auf Ökolandbau, ist eine reine theoretische Annahme. Wieso wird bei derartigen Studien dennoch ein völlig unrealistisches Szenario durchgerechnet?

ANTWORT: Die Rolle solcher Modellierungen liegt darin, den „Raum der Möglichkeiten“ für das zukünftige Ernährungssystem abzustecken und auszuloten und Zielkonflikte und Synergien zwischen verschiedenen Aspekten zu identifizieren. Niemand erwartet, dass wir in einigen Jahren zu 100% auf Bio umstellen – das wäre auch nicht unbedingt die beste Lösung – aber diese Modellierungen zeigen, was möglich wäre und was nicht, und wo dann besondere Herausforderungen liegen. Muller et al. 2017 z.B. betrachten Umstellungen auf Bio von 20%, 40%, 60%, 80% und 100% - kombiniert mit verschiedenen Umsetzungen von Abfall- und Kraftfutterreduktionen. Dabei zeigt sich dann, dass z.B. eine Umstellung auf 60% Bio noch gut machbar sein könnte, ohne in irgendeinem Indikator schlecht dazustehen. Deshalb wäre es auch interessant, in der Studie von Smith et al. verschiedene Anteile Bio gerechnet zu haben, um aufzuzeigen, welche Anteile dort noch mit welchen Auswirkungen einhergingen.

8. Inwiefern gibt es eine Art Gleichgewicht zwischen konventioneller und Ökolandwirtschaft, bei dem der Rückgang der Erträge so gering ist, dass die Nahrungsmittelversorgung gewährleistet ist, die Treibhausgasemissionen nicht signifikant steigen und das realistischer ist als die komplette Umstellung?

ANTWORT: s. oben – das wäre eben interessant, wenn das gerechnet worden wäre. In Muller et al. 2017 für die globale Umstellung auf Bio liegt das z.B. bei 60% Bio, 50% Abfallreduktion und 50% Kraftfutterreduktion – wobei weitere Reduktionen natürlich noch höhere Bioanteile ermöglichen würden – aber auch schwieriger zu realisieren wären.

9. Inwiefern rechtfertigen die regional positiven Aspekte der Öko-Landwirtschaft den zusätzlichen CO₂-Ausstoß bzw. wiegen sie ihn auf?

ANTWORT: s. oben – THG-Ausstoss und andere Indikatoren lassen sich nicht „aufwiegen“. Aber ich bin der Meinung, dass man bei Indikatoren, die Zielkonflikte aufweisen eine mittlere Balance anstreben sollte – wie oben gesagt: es geht darum, ein Ernährungssystem umzusetzen, das in allen Nachhaltigkeitsindikatoren leidlich gut dasteht, und nicht eines, das in einem Indikator maximal gut ist, in anderen aber vielleicht recht schlecht.

10. Gibt es positive Aspekte der Ökolandwirtschaft, die überregionale oder globale Bedeutung haben?

ANTWORT: Da die Landwirtschaft global grosse Flächen belegt hat die Art wie diese kultiviert werden sehr wohl eine globale/überregionale Bedeutung. Die positiven Effekte bezüglich Nährstoffverlusten (die Biosysteme haben im Schnitt viel weniger Stickstoffeinträge als die gängigen konventionellen, welche teils massiv überdüngt werden) und Toxizität (aus der Pestizidnutzung) gehören dazu.

11. Inwiefern die grundsätzlichen Erkenntnisse der Studie auf Deutschland, Österreich und die Schweiz übertragbar?

ANTWORT: dies sind auch Länder mit relativ hohen Erträgen, so würde sich eine Umstellung auf biologische Landwirtschaft dort ähnlich auswirken. Wie es im Detail aussieht, hängt aber von den lokalen Gegebenheiten ab, auch von den Anteilen Ackerland, Grasland und importierten Kraftfuttermitteln, von den Anteilen Getreide, Futtermais, etc. – bei Berechnungen, die wir für CH und AT durchgeführt haben führte eine Umstellung auf Bio zu weniger drastischen Einbussen (25-30% statt 40%). Wir hatten aber höhere Anteile an für die menschliche Ernährung geeignete Leguminosen in den biologischen Fruchtfolgen angenommen. Was auch zu grossen Unterschieden führen kann ist die Relevanz von Kulturen mit hohen Ertragslücken zwischen Bio und Konventionell: da scheint es in England/Wales sehr hohe Anteile an Getreide/Hackfrüchte (Kartoffeln/Zuckerrüben) zu haben, die eher hohe Ertragslücken aufweisen – anders als z.B. Hülsenfrüchte oder Raps, was in CH relativ ein wenig wichtiger ist. Aus eine Rolle spielt, welche Ertragslücke zwischen bio und konventionell angenommen wird.

12. Welche Unterschiede müssten bei einer Betrachtung dieser Länder gegenüber England und Wales berücksichtigt werden?

ANTWORT: s. oben – für die THG-Emissionen ist es auch sehr relevant, was wo auf welchen Böden wie angebaut wird, wie der Hofdünger gelagert und ausgebracht wird, etc.