

Beitrag des Biolandbaus zu einem nachhaltigen Boden- und Gewässerschutz

Rainer Weißhaidinger^{1*}, Richard Petrasek¹, Stefan Hörtenhuber¹ und Thomas Lindenthal¹

Zusammenfassung

Der vorliegende Tagungsbeitrag fasst anhand eines Literaturreviews direkte und indirekte Auswirkungen der biologischen Landwirtschaft auf die Ressourcen Boden und Wasser zusammen. Dabei wird ersichtlich, dass die wissenschaftliche Literatur dem Biolandbau überwiegend eine positive Rolle im Boden- und Gewässerschutz zuweist, z.B. Schutz des Bodens (Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, Reduktion von Bodenerosion), von Boden-, Grund- und Trinkwasser (Reduktion der Nitrat- und möglicher Pflanzenschutzmitteleinträge), der Oberflächengewässer (Rückgang von Phosphoreinträgen und des Eutrophierungsrisikos). Darüber hinaus dürften infolge verbesserter Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitäten Hochwasserspitzen abgemildert werden.

Summary

The article summarizes by review of the literature direct and indirect effects of organic agriculture on soil and water resources. It indicates that organic agriculture is a positive player in soil- and water conservation. Scientific literature shows that organic agriculture is increasing soil fertility, reducing soil erosion, and reducing the input of nitrate and pesticides into ground and drinking water resources as well as the input of phosphorus into surface waters and thereby the risk of eutrophication. Additionally, high water peaks seem to be reduced through higher infiltration and water storage capacity of organic soils.

Einleitung

Der intensiven Landwirtschaft wird aufgrund ihrer negativen Auswirkungen auf die Umwelt eine steigende Aufmerksamkeit entgegengebracht. Gleichzeitig setzt eine wachsende Anzahl an Landwirten und Konsumenten auf den Biolandbau, unter der Annahme, dass dieser eine ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit eher gewährleistet als andere, konventionelle Formen der Landbewirtschaftung.

Zentrale Aspekte der biologischen Landwirtschaft sind nach STOLZE et al. 2000:

- Langfristige Steigerung oder zumindest Beibehaltung der Bodenfruchtbarkeit,
- Verbot von leicht löslichen mineralischen und synthetischen Stickstoffdüngern,
- Verbot von chemisch-synthetischen Pestiziden und Futtermittelzusätzen, und
- höchstmögliches Tierwohl sowie begrenzte Viehbesatzdichten.

Es gilt heute als unbestritten, dass die intensive Landwirtschaft zu einem erheblichen Teil für Beeinträchtigungen von Böden, Oberflächengewässern, Grundwässern und der Luft verantwortlich ist (z.B. BMLFUW 2011). Während zuletzt vermehrt Aspekte des Klimaschutzes oder der Biodiversitätsförderung durch die biologische Landwirtschaft im Vordergrund standen (z.B. LINDENTHAL et al. 2011), geht der folgende Artikel der Frage nach, inwieweit der Biolandbau zum Schutz der Ressourcen Boden und Wasser beiträgt. Der

Artikel geht nicht spezifisch auf die österreichische Situation ein, vielmehr reflektiert er wissenschaftliche Literatur zum Thema aus einer allgemeinen Perspektive. Diffuse landwirtschaftliche Stoffquellen stehen im Zentrum, d.h. solche, die auf die Kulturlächen verteilt und nicht genau lokalisierbar sind. Punkt- und Mini-Punktquellen, das sind solche von Hofabläufen – z.B. Einträge über unsachgemäße Reinigung von Spritzgeräten – werden nicht betrachtet, sind jedoch zweifelsohne eine wichtige Belastungsquelle für Gewässer.

Beitrag des Biolandbaus zum Bodenschutz

Landwirtschaftliche Nutzung führt(e) zur Freisetzung von Kohlenstoff durch Mineralisierung und zum Verlust an organischer Bodensubstanz und damit einhergehend zur Verringerung der Bodenfruchtbarkeit (LAL 2004, LINDENTHAL et al. 2011). Wichtiges Ziel des Biolandbaus ist die Bodenfruchtbarkeit mittels einer naturnahen und ressourcenschonenden Produktionsweise (z.B. Kreislaufwirtschaft) zu erhalten, zu fördern und zu verbessern (STOLZE et al. 2000, NIGGLI et al. 2009).

Bodenfruchtbarkeit

Viele Studien weisen der biologischen Landwirtschaft auf unterschiedlichen Standorten eine mittel- bis langfristige Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bzw. des Humusgehalts zu (REGANOLD 1988, MÄDER et al. 2002, SHEPARD et al. 2002, FLIESSBACH et al. 2007). Keine bzw. nicht signifikante Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsweisen hinsichtlich des Aufbaus von organischer Substanz

¹ Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) Österreich, Seidengasse 33-35/13, A-1070 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Rainer Weißhaidinger, rainer.weissaidinger@fibl.org



wurden vereinzelt festgestellt, z.B. bei KÖNIG und SUNKEL (1989) und FRIEDEL (2000).

Verantwortlich für höhere Bodenfruchtbarkeit und Humusgehalte im Biolandbau sind: (1) Zufuhr von organischer Substanz, (2) permanente Bodenbedeckung durch Pflanzen, (3) reduzierte Bodenbearbeitung und (4) vielfältige Fruchtfolgen, (5) Klee gras in der Fruchtfolge und (6) flächengebundene Tierhaltung (PIMENTEL et al. 2005, FLIESSBACH et al. 2007, MÜLLER und LINDENTHAL 2009, LINDENTHAL et al. 2011). Nachweislich sind mit höheren Humusgehalten eine verstärkte mikrobielle Aktivität und gesteigerte Abundanz des Mikroedaphons sowie ein höherer Mykorrhiza-Besatz in biologisch bewirtschafteten Böden verbunden (MÄDER 1993, OBERSON et al. 1996, FLIESSBACH und MÄDER 2000, MÄDER et al. 2000, HANSEN et al. 2001, MÄDER et al. 2002, GOSLING 2006). Zahlreiche Studien weisen – verglichen mit konventionell bewirtschafteten Flächen – in Bio-Böden eine höhere Biomasse, Abundanz und Artenzahl von Regenwürmern nach (z.B. PFIFFNER und MÄDER 1997, HOLE et al. 2005, PFIFFNER und LUKA 2007, BIRKHOFFER et al. 2008, LILIENTHAL und SCHNUG 2011), wodurch auch ein verbesserter Nährstoff-, Wasser- und Lufthaushalt sowie stabilere Bodenkrümel gewährleistet werden (SIEGRIST et al. 1998).

Die oben angeführten Indikatoren einer höheren Bodenfruchtbarkeit in biologisch bewirtschafteten Böden führen zu einer Vielzahl an positiven (Neben)Effekten, z.B. eine verbesserte Filter- und Pufferfunktion gegenüber Säure-, Schad- und Nährstoffeinträgen sowie eine erhöhte Speicherfunktion, z.B. von Nährstoffen und CO₂ (u.a. PIMENTEL et al. 2005).

Bodenerosion und physikalischer Bodenschutz

Der Prozess der Bodenerosion ist weltweit ein maßgeblicher Faktor der Degradierung bzw. Zerstörung von Bodenressourcen (PIMENTEL 1995, BOARDMAN und POESEN 2006). Dabei sind nicht nur die Schäden im Agrarökosystem (on-site) – z.B. Humus- und Nährstoffverluste – von Bedeutung, vielmehr wirken sich transportierte Schwebstoffe und daran partikulär gebundene Schad- und Nährstoffe gravierend auf benachbarte bis weit entfernte (off-site-) Ökosysteme aus.

Es gibt kaum Studien die Bodenerosionsraten von unterschiedlichen Landbausystemen direkt mittels Felderhebungen untersuchen. Dagegen gibt es eine Vielzahl an vergleichenden Studien, welche Teilprozesse oder Indikatoren der Bodenerosion prüfen und Vorteile für den Biolandbau belegen, u. a. eine höhere Infiltrations- und Wasserspeicherkapazität sowie Aggregatstabilität (SIEGRIST et al. 1998, PIMENTEL et al. 2005, LILIENTHAL und SCHNUG 2011), eine Reduktion des Verschlammungsrisikos und eine Steigerung des Erosionswiderstands durch Luzerne-, Klee- oder Klee gras, stickstoffreiche Wurzelrückstände und Bestandsabfälle und infolge höherer mikrobieller Aktivität (SIEGRIST et al. 1998, KAINZ et al. 2009). Dadurch kann das Risiko von Oberflächenabfluss und Abschwemmungs- bzw. Erosionsereignisse herabgesetzt wird.

In *Abbildung 1* sind die laut KAINZ et al. (2009) positiven wie negativen Effekte des Biolandbaus auf die Bodenerosion dargestellt. Die weitgehende Vermeidung von Schwarzbrache, ein regional oft geringerer Hackfruchtanteil, die Integration von Zwischen- und Untersaaten sowie eine

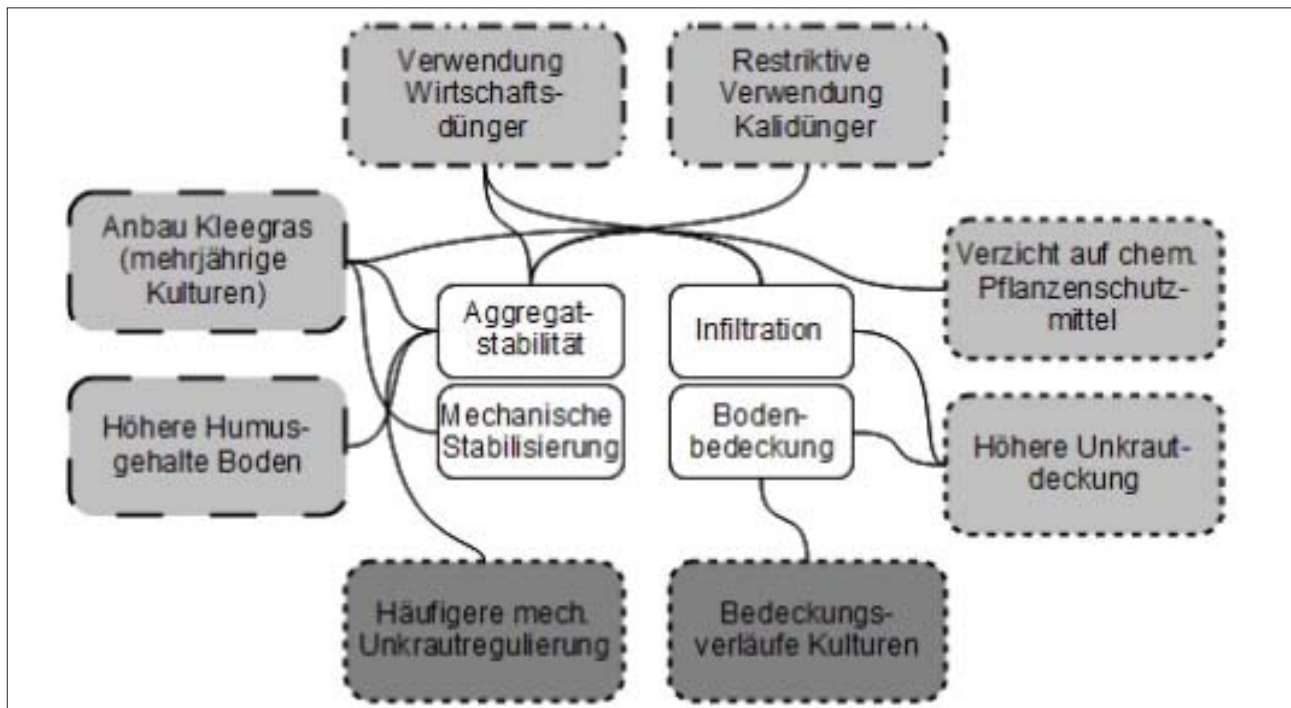


Abbildung 1: Maßnahmen des biologischen Landbaus und Wirkungen auf die Bodenerosion (Angaben aus KAINZ et al. 2009; eigene Darstellung). Die hellgrauen und grauen Felder weisen auf eine Ab- bzw. Zunahme der Bodenerosion durch den Biolandbau hin. Die Umrandung der Felder deutet auf die Wirkungsdauer der Maßnahmen hin: kurze Striche = kurzfristig; lange = langfristig.

ökologische Agrarlandschaftsgestaltung wirken sich darüber hinaus bodenerosionsreduzierend aus (MÜLLER und LINDENTHAL 2009).

Für reduzierte und Minimalbodenbearbeitung im Biolandbau gibt es großen Forschungsbedarf mit Potenzialen zum verbesserten Boden- und Gewässerschutz (PEIGNÉ et al. 2007, ANKEN et al. 2009, LAHMAR 2010).

Chemischer Bodenschutz

Durch das Verbot von Herbiziden in der biologischen Landwirtschaft besteht kein Risiko der chemischen Belastung von Böden (vgl. NIGGLI et al. 2009). Neben dem Verbot von chemisch-synthetischen Pestiziden liegen dem Biolandbau strengere Grenzwerte hinsichtlich organischen und anorganischen Schadstoffen in organischen und mineralischen Düngern zugrunde. So dürfen z.B. die – häufig mit Schwermetallen belasteten – Klärschlämme im Biolandbau nicht eingesetzt werden (MÜLLER und LINDENTHAL 2009).

Beitrag des Biolandbaus zum Gewässerschutz

Die Landwirtschaft ist einer der großen Verursacher von Gewässerbelastungen (s. BMLFUW 2010). Offenkundige Probleme verursachen Nähr- und Schadstoffausträge, die entweder gelöst oder partikulär gebunden über Prozesse der Versickerung, Drainage- und Zwischenabfluss sowie Abschwemmung und Bodenerosion ins Grundwasser oder in Oberflächengewässer eingetragen werden.

Nitratauswaschung

Durch die Verwendungseinschränkungen von leichtlöslichen N- und P-Düngern sind die möglichst verlustarme Verwendung von Hofdüngern und die Deckung des N-Bedarfs von Kulturen durch Leguminosen und Gründüngung in der Fruchtfolge zentrale Ziele des Biolandbaus (Kreislaufwirtschaft) (NIGGLI et al. 2009).

Aufgrund der großen Mobilität von Nitrat im Boden-Wasser-Komplex ist Stickstoff im Grundwasserschutz als besonders problematisch anzusehen. Aufgrund von unterschiedlichen Erhebungsmethoden, Bodentypen, Klima und Nutzungsarten sind Untersuchungsergebnisse oft schwierig miteinander zu vergleichen. Viele der Landbausysteme vergleichenden Studien weisen jedoch auf z.T. deutliche Vorteile des Biolandbaus im Vergleich mit der konventionellen Landwirtschaft hinsichtlich Nitratkonzentrationen im Sickerwasser und Auswaschungsmengen im Drainage- und Grundwasser hin (FEIGE und RÖTHLINGSHÖFER 1990, BRANDHUBER und HEGE 1992, BERG et al. 1997, KOLBE 2000, HAAS 2001, WILBOIS et al. 2007). In einer umfangreichen Studie von KOLBE (2000) erklärt sich die reduzierte Nitratauswaschung durch geringere N-Saldowerte, höhere Nährstoffverwertung der Kulturen, geringe N_{\min} -Herbstwerte, ein kleineres N-Verlagerungspotenzial von organischen Düngern (ggü. Mineraldünger), höhere N-Bindung im Humus sowie oft auch eine Erweiterung der C/N-Verhältnisse (vgl. SHEPARD et al. 2002, HAAS 2010). Im Biolandbau wird dort hohe Nitratauswaschung festgestellt, wo z.B. für den Umbruch von Gras oder Leguminosen der falsche

Zeitpunkt oder keine optimale Folgekultur gewählt wird. Darüber hinaus können geringere Erträge zu einem höheren N-Auswaschungspotenzial führen (HANSEN et al. 2001).

Phosphat

Phosphorverluste aus der Landwirtschaft tragen zur Oberflächengewässereutrophierung bei (BMLFUW 2010). Die dominierenden Austragsprozesse sind Abschwemmung gelöster und Erosion partikulär gebundener P-Fractionen. Allgemein gilt Phosphor im Boden als wenig mobil. Mit steigender P-Versorgung des Oberbodens kann jedoch die Auswaschungsfahr von Orthophosphaten steigen, v.a., wenn eine Drainagierung der Flächen vorliegt (STAMM et al. 1997 und 2002).

Wie weiter oben beschrieben sind Bodenerosionsraten unter biologischer Bewirtschaftung höchstwahrscheinlich geringer als im konventionellen Landbau (mit Ausnahme der reduzierten Bodenbearbeitung). Die Verringerung der Eutrophierung durch verringerten Abtrag von nährstoffreichen Oberbodenmaterial wird zudem dadurch verstärkt, dass die Ackerschläge von Biobetrieben auch geringe Gesamtphosphor-Gehalte aufweisen und somit geringere P-Mengen mit dem Oberboden in die Oberflächengewässer gelangen (LINDENTHAL 2000, KELLER et al. 2009). Eine höhere Bioaktivität der Bodenorganismen und Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln führen zu einer effizienteren Phosphornutzung von Kulturen (NIGGLI et al. 2009).

Pflanzenschutzmittel

In Österreich wurden im Jahr 2009 in Summe 3.692,4 t Wirkstoffmenge von Pestiziden ausgebracht, wobei über ein Drittel davon als Herbizide Verwendung fanden (BMLFUW 2011). Rückstände dieser Stoffe im Boden, Grundwasser, Oberflächenwasser und eben auch in der menschlichen Nahrung können zu negativen Folgewirkungen für das Ökosystem (und den Menschen) führen. Bodeneigenschaften, Gehalt an organischem Kohlenstoff, pH-Wert, Textur, Zusammensetzung und Struktur sowie die Art der Bodenbearbeitung, das Klima, die Zusammensetzung des Unterbodens und der Vadosezone, das Grundwasser selbst und die Menge sowie die Eigenschaften des verwendeten Pestizids sind entscheidend für das Auswaschungspotential dieser Stoffe (SI et al. 2006, GILLIOM et al. 2007). Nach der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 dürfen in der biologischen Landwirtschaft keine chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kommen. Dadurch ist eine Kontamination des Grund- und Trinkwassers durch diese Xenobiotika nach der Umstellungsphase ausgeschlossen. Als Vorbeugung von Verlusten durch Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter setzt die biologische Landwirtschaft hauptsächlich auf Nützlinge, eine geeignete Arten- und Sortenwahl, standortangepasste Fruchtfolgen, Bodenbearbeitungs- und Anbauverfahren sowie thermische Prozesse. Bei der Bewirtschaftung von manchen Kulturen bzw. bei einem verstärkten Krankheits- und Schädlingsdruck sind dennoch gewisse Pflanzenschutzmittel biologischen Ursprungs zugelassen (z.B. Phyrethrine, Pflanzenöle, gewisse Formen von Kupfer) (z.B. KÜHNE et al. 2006). Trotz ihres natürlichen Ursprungs müssen diese Präparate effizient und maßvoll eingesetzt werden. Herbizide hingegen werden in keiner Form angewendet. Der Biolandbau hilft daher, die

globale Kontamination mit Pestiziden in der Atmosphäre, im Regen, im Grundwasser, in den Oberflächengewässern und Meeren zu verringern (MÜLLER und LINDENTHAL 2009).

Tierarzneimittel

Tierarzneimittel, vor allem Antibiotika, werden in der landwirtschaftlichen Tierhaltung (in Betracht der nationalen Gesetzeslage) mittels Futterbeimischungen, angereichertem Trinkwasser oder direkt zur Wachstumsförderung, zur Prophylaxe, Metaphylaxe oder Therapie gegen Krankheiten bei Tieren angewendet (z.B. AUST et al. 2008). Die anfallenden Ausscheidungen werden als Wirtschaftsdünger, Jauche oder Festmist auf die landwirtschaftliche Nutzfläche aufgebracht, wodurch es zu einer Kontamination des Bodens mit Tierarzneimitteln bzw. deren Abbauprodukten kommt (MARTINEZ-CARBALLO et al. 2007, UMWELTBUNDESAMT 2005). Ausscheidungen von Tieren gelangen – im Gegensatz zum Großteil der menschlichen Exkremente – in das Ökosystem, ohne eine Reinigung in Kläranlagen zu durchlaufen. Somit besteht die Möglichkeit, dass diese durch den Nahrungskreislauf auch in die menschliche Ernährung gelangen, wodurch es zu Gesundheitsgefährdungen (z.B. Antibiotikaresistenzen) für die Menschen kommen kann (MUNIR und XAGORARAKI 2011). Abhängig von der Stabilität der jeweiligen Arzneimittelwirkstoffe bzw. der Art der Abbauprodukte verbleiben diese in den oberen Bodenschichten. Ein Eintrag dieser Stoffe kann über Abschwemmung und Bodenerosion in Oberflächengewässer oder durch Versickerung in das Grundwasser (z.B. BOXALL et al. 2003, BLACKWELL et al. 2007) erfolgen.

In der biologischen Landwirtschaft gilt das Prinzip der Krankheitsvorsorge. Dazu zählen die Wahl geeigneter Rassen oder Linien, tiergerechte Haltung, angemessene Besatzdichte, Art- und bedarfsgerechte Fütterung sowie regelmäßiger Auslauf (VO(EG)Nr. 834/2007).

Im Krankheitsfall oder bei Verletzungen sind laut dieser EU-VO phytotherapeutische Erzeugnisse (z.B. Pflanzenextrakte), homöopathische Präparate sowie Spurenelemente chemisch-synthetischen allopathischen Tierarzneimitteln oder Antibiotika vorzuziehen. Kann das Tier mit diesen Mitteln nicht wirksam behandelt werden, so dürfen in Verantwortung eines Tierarztes chemisch-synthetische allopathische Tierarzneimittel verabreicht werden.

Obwohl es keine offiziellen Zahlen zum Verbrauch von Tierarzneimitteln in Österreich gibt (soweit uns bekannt), kann davon ausgegangen werden, dass die biologische Tierhaltung geringere Mengen von Tierarzneimitteln in das Ökosystem einbringt.

Hochwasser

Generell, besonders aber im Hinblick auf künftig im hydrologischen Winterhalbjahr vermehrt auftretende Niederschlags-Hochwasserereignisse sind bestmögliche Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitäten der Böden von Wichtigkeit. Hier tragen die biologische Landwirtschaft und die konservierende Bodenbearbeitung durch höhere Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitäten zum vorbeugenden Hochwasserschutz und zur Abmilderung von Hochwasserspitzen bei (LILIENTHAL und SCHNÜG 2011).

Trinkwasser

Wie Beispiele aus Deutschland zeigen, bietet die Integration der biologischen Landwirtschaft im Grund- und Trinkwasserschutzgebietsmanagement eine volkswirtschaftlich sinnvolle, vorsorgliche Strategie von Wasserversorgungsunternehmen, etwa in München, Leipzig, Unterfranken und Niedersachsen (s. MÜLLER und LINDENTHAL 2009). Als Anlass zur Förderung des Biolandbaus durch die Wasserversorgungsunternehmen stehen laut SZERENCSITS und HESS (2001) steigende Nitratwerte und Pestizidrückstände im Wasser sowie der präventive Charakter einer Umstellung im Vordergrund. Aus der Perspektive der Landwirtschaft können die Bedingungen für eine Umstellung auf biologische Landwirtschaft v.a. dann verbessert werden, wenn ein umfassendes Bündel an Beratungs- und Unterstützungsinstrumenten zum Einsatz kommt (SZERENCSITS et al. 2002, SZERENCSITS und HESS 2003, WILBOIS et al. 2007): nämlich engagierte, überzeugende persönliche Beratung; leicht verfügbare Information; Sicherung des Absatzes von Bioprodukten; Bereitstellung von Einkommensausgleichen (während der Umstellung und danach) und eine befristete teilbetriebliche Umstellung. In nitratbelasteten Gebieten kann laut KOLBE (2000) der biologische Landbau (mit einer gewissen Optimierung) eine Reduktion unter Richtwert gewährleisten.

Beitrag zur umfassenden Nachhaltigkeit

Die starke Abhängigkeit der konventionellen Landwirtschaft von Düngemitteln und Pestiziden führt zu gravierenden gesundheitlichen und ökologischen Problemen (PIMENTEL et al. 2005). Der Biolandbau hingegen leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von Umweltbelastungen bzw. langfristigen Umweltrisiken sowie von externalisierten Kosten (z.B. Kosten der Gewässerreinigung, Gesundheitskosten) durch Verbote und Einschränkungen von leicht löslichen (Mineral-) Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Tierarzneimitteln. Damit wird nicht nur die Stoffbelastung als solche, sondern auch die Belastung und die Risiken durch mögliche Abbauprodukte verkleinert, die z.T. (noch) nicht erfasst werden können.

Neben lokaler Boden- und Gewässerbelastung gibt es infolge der Futtermittel- oder Agrotreibstoff-Importe massive Beeinträchtigungen von Ökosystemen in den Ursprungsregionen. Eine holistische Betrachtung dieser importierten Belastungen ist nötig. Zwei bekannte Beispiele sind die landwirtschaftliche Produktion von Futtermitteln, die damit direkt oder indirekt einhergehende Abholzung von Regenwäldern in Südamerika (bspw. für Sojaimporte) und die Konversion von Primär- und Sekundärregenwäldern in Palmölplantagen zur Produktion von Agrotreibstoffen und dem in Europa weniger eingesetzten Koppelprodukt Palmkernkuchen. Besonders im zweiten Fall werden große Mengen an Dünger und Pestiziden eingesetzt, mit gravierenden Folgen für die Umwelt (Klima, Boden, Gewässer und Biodiversität) und sozialer und lokal-ökonomischer Folgewirkungen. Ein weiterer globaler Effekt der intensiven Landwirtschaft ist das Phänomen der „Toten Meereszonen“ im Bereich von Flussmündungen in Meeren. Infolge des übermäßigen Stickstoffeintrags in die Meere kommt es in den Küstenregionen zu Eutrophierungsprozessen, die zum

Absterben der benthischen Fauna und zu schweren Störungen bzw. zum Massensterben von Fischen führen (DIAZ und ROSENBERG 2008). In Europa sind von diesem Phänomen hauptsächlich die Nord- und Ostsee davon betroffen.

Derartige Perspektiven und globale Prozesse dürfen in einem „nachhaltigen“ Modell nicht fehlen – weder der Landwirtschaft noch des Boden- und Wasserschutzes. Der Biolandbau ist nicht per se in allen Aspekten der Nachhaltigkeit besser, jedoch entspricht er am ehesten der Auffassung einer nachhaltigen Landwirtschaft. Dies gilt insbesondere auch für den Schutz von Boden- und Wasserressourcen. Die Stärke des Biolandbaus besteht aber nicht darin, dass ausgesuchte Aspekte der Nachhaltigkeit bedient werden, sondern Nachhaltigkeit umfassend gesehen wird und neben der ökologischen auch soziale und ökonomische Elemente integriert werden. Neben den bereits eingehender behandelten Vorteilen im Boden- und Gewässerschutz sind dies hauptsächlich: Klimaschutz, Tierschutz / Tiergesundheit, Schutz und Förderung der Biodiversität (Lebensräume, Arten- und genetische Vielfalt von Flora und Fauna), Förderung von Ökosystem-„Dienstleistungen“ (Regulierung von Schadinsekten, Bestäuberfunktion) und ein Beitrag zur Landschaftsqualität (NIGGLI et al. 2009, SANDHU et al. 2010).

Schlussfolgerung

Die Biolandwirtschaft leistet einen wichtigen direkten und indirekten Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz – lokal, regional und global! Die wichtigsten Effekte sind u. a. der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, die Reduktion von Oberflächenabfluss, Abschwemmung und Bodenerosion, eine geringere Auswaschung von Nitrat und Schadstoffen ins Grundwasser, geringere Stoffeinträge in Oberflächengewässer und ein im Einzugsgebiet beginnender Hochwasserschutz. Im Gegensatz zur konventionellen Landwirtschaft ist das Optimierungspotenzial der biologischen Landwirtschaft wenig ausgeschöpft. Es besteht hoher Forschungsbedarf im Biolandbau – auch im Zusammenhang mit Boden- und Gewässerschutz – der durch die gegenwärtige Forschungslandschaft nicht im erwünschten Maße gewährleistet werden kann.

Danksagung

Für die Durchsicht des Manuskripts danken wir Frau DI Elisabeth Klingbacher.

Literatur

- ANKEN, T., W. RICHNER, P. MÄDER und O. SCHMID, 2009: Stickstoffausnutzung, Beikrautregulierung und Erträge unterschiedlicher Bestellverfahren. In: J. Mayer et al. (Hrsg.): Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel., Bd. 1, 30-33.
- AUST, M.-O., F. GODLINSKI, G.R. TRAVIS, X. HAO, T.A. McALLISTER und P. LEINWEBER, 2008: Distribution of sulfamethazine, chlortetracycline and tylosin in manure and soil of Canadian feedlots after subtherapeutic use in cattle. *Environmental Pollution* 156, 1243-1251.
- BERG, M., G. HAAS und U. KÖPKE, 1997: Wasserschutzgebiete: Vergleich des Nitrataustrages bei Organischem, Integriertem und Konventionellem Ackerbau. In: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau Bonn, Köster, Berlin, 28-34.
- BIRKHOFFER, K., T. MARTIJN BEZEMER, J. BLOEM, M. BONKOWSKI, S. CHRISTENSEN, D. DUBOIS, F. EKELUND, A. FLIESSBACH, L. GUNST, K. HEDLUND, P. MÄDER, J. MIKOLA, C. ROBIN, H. SETÄLÄ, F. TATIN-FROUX, W. H. van der PUTTEN and S. SCHEU, 2008: Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology & Biogeochemistry* 40, 2297-2308.
- BLACKWELL, P.A., P. KAY and A.B.A. BOXALL, 2007: The dissipation and transport of veterinary antibiotics in a sandy loam soil. *Chemosphere* 62, 292-299.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.), 2010: Wassergüte in Österreich – Jahresbericht 2010. BMLFUW in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt. Internet: <http://www.umweltbundesamt.at/jb2010>
- BMLFUW (Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (Hrsg.), (2011): Grüner Bericht 2011 – Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Internet: www.gruenerbericht.at
- BOARDMAN, J. and J. POESEN (Hrsg.), 2006: Soil Erosion in Europe. John Wiley & Sons. ISBN 0-470-85910-5.
- BOXALL, A.B.A., D.W. KOLPIN, B. HALLING-SÖRENSEN and J. TOLLS, 2003: Are veterinary medicines causing environmental risks? *Environmental Science & Technology* 287.
- BRANDHUBER, R. und U. Hege, 1992: Tiefenuntersuchungen auf Nitrat unter Ackerschlägen des ökologischen Landbaus. Bayer. Landwirtschaftliches Jahrbuch 69, 111-119.
- DIAZ, R.J. and R. ROSENBERG, 2008: Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321 (5891), 926-929.
- FEIGE, W. und R. RÖTHLISHÖFER, 1990: Nitratauswaschung aus zwei unterschiedlich bewirtschafteten Ackerböden. *Zeitschrift f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 31, 89-95.
- FLIESSBACH, A. and P. MÄDER, 2000: Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 89-95.
- FLIESSBACH, A., H.-R. OBERHOLZER, L. GUNST and P. MÄDER, 2007: Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
- FRIEDEL, J.K., 2000: The effects of farming system on labile fractions of organic matter in Calcari-Epileptic Regosols. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 41-45.
- GILLIOM, R.J., J.E. BARBASH, C.G. CRAWFORD, P.A. HAMILTON, J.D. MARTIN, N. NAKAGAKI, L.H. NOWELL, J.C. SCOTT, P.E. STACKELBERG, G.P. THELIN and D.M. WOLOCK, 2007: Pesticides in streams and ground water of the United States. In: Del Re, A. A. M., XIII (Hrsg.), Symposium Pesticide Chemistry—Environmental Fate and Ecological Effects of Pesticides. La Goliardica Pavese s.r.l., 731-742.
- GOSLING, P., A. HODGE, G. GOODLASS and G.D. BENDING, 2006: Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 17-35.
- HAAS, G., 2010: Wasserschutz im Ökologischen Landbau: Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft. Bericht BÖL (ID 16897). Jan. 2010.
- HAAS, G., F. WETTERICH und U. KÖPKE, 2001: Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 43-53.
- HANSEN, B., H.F. ALRØE and E.S. KRISTENSEN, 2001: Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83, 11-26.
- HOLE, D.G., A.J. PERKINS, J.D. WILSON, I.H. ALEXANDER, P.V. GRICE and A.D. EVANS, 2005: Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122, 113-130.

- KAINZ, M., N. SIEBRECHT und H.-J. REENTS, 2009: Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. In: J. Meyer et al. (Hrsg.): Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Bd. 1: 53-56.
- KELLER, M., A. OBERSON, E. FROSSARD, P. MÄDER, J. MAYER und E.K. BÜNEMANN, 2009: Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsverfahren auf P-Formen und P-Dynamik im Boden. In: J. Meyer et al. (Hrsg.) Werte – Wege – Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel. Bd. 1: 73-74.
- KOLBE, H., 2000: Landnutzung und Wasserschutz. Land Use and Water Protection. Effects of nitrogen budget, Nmin-values, nitrate content and leaching in Germany. WLW Wissenschaftliches Lektorat & Verlag, Leipzig, Germany, ISBN 3-9805495-7-7.
- KÖNIG, W. und R. SUNKEL, 1989: Untersuchungen zu Bodenphysik, Humusversorgung und Nährstoffhaushalt auf alternativ und konventionell bewirtschafteten Flächen. In: Alternativer und konventioneller Landbau. Schriftenreihe Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwässerung und Forstplanung NRW, Bd. 11, Münster-Hiltrup, 21-38.
- KÜHNE, S., U. BURTH und P. MARX (Hrsg.), 2006: Biologischer Pflanzenschutz im Freiland – Pflanzengesundheit im Ökologischen Landbau. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LAHMAR, R., 2010: Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. Land Use Policy 27: 4-10.
- LAL, R., 2004: Carbon emission from farm operations. Environmental International 30, 981-990.
- LILIENTHAL, H. und E. SCHNUG, 2011: Bioböden sind die besseren Wasserspeicher. Ökologie & Landbau 158 (2/2011), 20-22.
- LINDENTHAL, T., 2000: Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau. Ausgangspunkte für die Bewertung einer großflächigen Umstellung ausgewählter Bundesländer Österreichs auf Biologischen Landbau hinsichtlich des P-Haushalts. Diss. Univ. f. Bodenkultur Wien.
- LINDENTHAL, T., G. RUDOLPH, M. THEURL, S. HÖRTENHUBER und G. KRAUS, 2011: Biologische Boden-Bewirtschaftung als Schlüssel zum Klimaschutz in der Landwirtschaft. Studie im Auftrag von Bio Austria. Endbericht, Aug. 2011.
- MÄDER, P., 1993: Effekt langjähriger biologischer und konventioneller Bewirtschaftung auf das Bodenleben. In: Zerger, U. (Hrsg.): Forschung im ökologischen Landbau. SÖL Sonderausg. 42, 271-278.
- MARTÍNES-CARBALLO, E., C. GONZÁLEZ-BARREIRO, A. SITKA, S. SCHARF und O. GANS, 2007: Environmental monitoring study of selected veterinary antibiotics in animal manure and soils in Austria. Environmental Pollution 148, 570-579.
- MÄDER, P., S. EDENHOFER, T. BOLLER, A. WIEMKEN und U. NIGGLI, 2000: Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low input („organic“, „biological“) and high input („conventional“) farming systems in a crop rotation. Biology and Fertility of Soils 31, 150-156.
- MÄDER, P., A. FLIESSBACH, D. DUBOIS, L. GUNST, P. FRIED und U. NIGGLI, 2002: Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Science 296, 1694-1697.
- MÜLLER, W. und T. LINDENTHAL, 2009: Was leistet der Biologische Landbau für die Umwelt und das Klima. Studie im Auftrag der AMA. Wien, März 2009.
- MUNIR, M. und I. XAGORARAKI, 2011: Levels of antibiotic resistance genes in manure, biosolids, and fertilized soil. J Environmental Quality 40, 248-55.
- NIGGLI, U., O. SCHMID, M. STOLZE, J. SANDERS, C. SCHADER, A. FLIESSBACH, P. MÄDER, P. KLOCKE, G. WYSS, O. BALMER, L. PFIFFNER und E. WYSS, 2009: Gesellschaftliche Leistungen der biologischen Landwirtschaft. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick, März 2009.
- OBERSON, A., J.M. BESSON, N. MAIRE and H. STICHER, 1996: Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. Biol. Fertil. Soils 21, 138-148.
- PEIGNÉ, J., B.C. BALL, J. ROGER-ESTRADE and C. DAVID, 2007: Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use and Management 23, 129-144.
- PFIFFNER, L. and P. MÄDER, 1997: Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. Biological Agriculture and Horticulture 15, 3-10.
- PFIFFNER, L. and H. LUKA, 2007: Earthworm populations in two low-input cereal farming systems. Applied Soil Ecology 37, 184-191.
- PIMENTEL, D., C. HARVEY, P. RESOSUDARMO, K. SINCLAIR, D. KURZ, M. MCNAIR, S. CRIST, L. SHPRITZ, L. FITTON, R. SAFFOURI and R. BLAIR, 1995: Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science 267, 1117-1123.
- PIMENTEL, D., P. HEPPERLY, J. HANSON, R. SEIDEL and D. DOUDS, 2005: Organic and Conventional Farming Systems: Environmental and Economic Issues. Report 05-1: 1-52.
- REGANOLD, J.P., 1988: Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. American Journal of Alternative Agriculture 3, 144-145.
- SANDHU, H.S., S. WRATTEN and R. CULLEN, 2010: Organic agriculture and ecosystem services. Environ Science & Policy 13, 1-7.
- SHEPARD M.A., R. HARRISON and J. WEBB, 2002: Managing soil organic matter – implications for soil structure on organic farms. Soil Use and Management 18, 284-292.
- SI, Y.B., J. ZHANG, S.Q. WANG, L.G. ZHANG and D.M. ZHOU, 2006: Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. Geoderma 130, 66-76.
- SIEGRIST, S., D. STAUB, L. PFIFFNER and P. MÄDER, 1998: Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. Agriculture, Ecosystems and Environment 69, 253-264.
- STAMM, C., H. FLÜHLER, R. GÄCHTER, J. LEUENBERGER and H. WUNDERLI, 1998: Preferential transport of phosphorus in drained grassland soils. J. Environ. Qual. 27, 515-522.
- STAMM, C., R. SERMET, J. LEUENBERGER, H. WUNDERLI, H. WYDLER, H. FLÜHLER and M. GEHRE, 2002: Multiple tracing of fast transport in a drained grassland soil. Geoderma 109, 245-268.
- STOLZE, M., A. PRIORR, A. HÄRING and S. DABBERT, 2000: The environmental impact of organic farming in Europe. Organic Farming in Europe: Economics and Policy, Vol. 6. University of Hohenheim, Germany.
- SZERENCSITS, M. und H. HESS, 2001: Trinkwasserschutz durch Ökologischen Landbau – Strategien für die Umsetzung von nachhaltigem Stoffstrommanagement. Wasser & Boden 10.
- SZERENCSITS, M. und H. HESS, 2003: Gezielte Umstellungsförderung in Wasserschutzgebieten. In: Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau der Zukunft. Universität für Bodenkultur, Institut für Ökologischen Landbau, Wien, 673-674.
- SZERENCSITS, M., B. SCHÄFER und J. HESS, 2002: Förderung der Umstellung auf Ökologischen Landbau in Wasserschutzgebieten – Möglichkeit und Grenzen des qualifizierenden Wissenstransfers. In: Wissenschaft und Praxis der Landschaftsnutzung. Formen interner und externer Forschungskooperation. Margraf, Weikersheim, 171-183.
- UMWELTBUNDESAMT, 2005: Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden. Berichte, Bd. BE-0272. Umweltbundesamt, Wien.
- WILBOIS, K.-P., M. SZERENCSITS und R. HERMANOWSKI, 2007: Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrataustrags ins Grundwasser. Grundlagenstudie im Auftrag der Regierung Unterfranken. Juni 2007, FiBL Deutschland.