


Empfehlungen für die Umsetzung eines nachhaltigen und gesellschaftlich akzeptierten Unterbodenmanagements in Deutschland

Holger Gerdes, Zoritz Kiresiewa, Christian Schneider, Felix Dengler & Sophie Ittner
in Zusammenarbeit mit dem Soil³-Konsortium

August 2024

- 
- A decorative graphic on the left side of the page consists of several overlapping triangles in shades of grey and blue, pointing towards the right.
- **Anpassung des politischen Förderrahmens** zur Ausweitung des Luzerneanbaus
 - **Schaffung effektiver Wertschöpfungsketten** und Vermarktungsstrategien für innovative Luzerneprodukte
 - **Verstärkte Zusammenarbeit mit Praxisakteuren** für einen verbesserten Wissenstransfer
 - **Schaffung rechtlicher Klarheiten** für Meliorationsmaßnahmen im Unterboden
 - **Weitergehende Forschungsförderung** für mechanische Unterbodenmelioration

Einleitung

Als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie sind fruchtbare Böden unverzichtbar. Der Unterboden kann hierbei eine Schlüsselrolle einnehmen, da darin sowohl ein Großteil der für Pflanzen wichtigen Nährstoffe, als auch ein Großteil des Bodenwassers enthalten sind. Als Unterboden wird der Bodenbereich unterhalb des normalerweise durch Pflugarbeit gelockerten Oberbodens bezeichnet (ab etwa 30 cm unter der Oberfläche). Um dieses vielfach ungenutzte Potenzial zu erschließen, untersuchte das langfristig angelegte Forschungsprojekt Soil³ zwischen 2015 und 2025 unterschiedliche Maßnahmen zum verbesserten Unterbodenmanagement. Ziel des Projekts war es, Wurzelsperren aufzuheben und das Potenzial des Unterbodens besser als bisher für die Pflanzenproduktion zu erschließen, um dadurch Ernteerträge zu sichern oder sogar zu steigern. Eine wirksame Komponente für dieses Ziel kann die Erhöhung der Stickstoffbilanz in der Landwirtschaft sein. Der Bilanz wird auch in Stickstoffminderungsstrategien eine große Bedeutung zugeschrieben (z. B. Sutton et al. 2011).

Die zentrale These des Soil³-Projekts lautete, dass die Nährstoff- und Wasseraufnahme aus dem Unterboden dann erhöht werden kann, wenn Pflanzen vermehrt Wurzeln im Unterboden ausbilden. Dies kann dadurch geschehen, dass physikalische Widerstände für das Wurzelwachstum verringert werden oder Nährstoffe sowie auch pflanzenverfügbares Wasser im Unterboden zugänglich gemacht werden, ohne dabei die Habitategenschaften bzw. Ökosystemleistungen von Unterböden nachhaltig zu verändern. In diesem Kontext untersuchte das Soil³-Projekt zwei Maßnahmen für ein verbessertes Unterbodenmanagement:

- Biologische Unterbodenmelioration durch den Anbau tiefwurzelnder Kulturen wie Luzerne, die die Zugänglichkeit der Unterbodenressourcen für nachfolgende Kulturen durch die Etablierung von Bioporen erhöhen.

- Mechanische Unterbodenmelioration durch streifenweise Unterbodenlockerung mit gleichzeitigem Einmischen von organischem Material, das die physikalischen Widerstände verringert und Rückverdichtungen vorbeugt sowie die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit erhöht.

Die Projektergebnisse bestätigen, dass die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Unterbodens häufig heterogener sind als im Oberboden. Der Wurzelzugang zum Unterboden ist oft durch hohe Lagerungsdichten erschwert, Pflanzenwurzeln erschließen den Unterboden daher vorwiegend durch standortbedingt unterschiedlich stark ausgeprägte Porensysteme. Diese Zugangswege können durch biologische Unterbodenmelioration mit neu geschaffenen Bioporen gefördert werden. Ein Sachverhalt, der nachweislich unter saisonaler Trockenheit in Abhängigkeit des Bodentyps zu positiven Ertrags-effekten führen kann. Darüber hinaus ist mehrjähriger Luzerneanbau, der zu verbesserter Unterbodenmelioration führt, mit weiteren Ökosystemleistungen verbunden (Kohlenstoffsequestrierung, symbiotische Stickstofffixierung, Beikrautregulierung, Habitat für Tiere der Agrarlandschaft) und kann daher Beiträge zu weiteren Transformationszielen leisten, wie Verringerung des Carbon Footprints der Landwirtschaft, Reduktion von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sowie Biodiversitätsförderung.

Auch durch mechanische Unterbodenmelioration können positive Effekte erzielt werden: Die streifenweise Einbringung von Kompost in den Unterboden ermöglicht abhängig von dessen Qualität die Erhaltung oder sogar eine Erhöhung der Ernteerträge um bis zu 20 % (Schmittmann et al. 2021), abhängig von den Standort- und Witterungsbedingungen sowie der Kulturart.

Die beiden untersuchten Maßnahmen des Unterbodenmanagements eignen sich je nach Standortbedingungen für unterschiedliche Zielregionen. Generell ist Unterbodenlockerung am aussichtsreichsten und nachhaltigsten in meliorationsfähigen Böden bei

gleichzeitiger Meliorationsbedürftigkeit – daher in Regionen mit stark verdichteter Bearbeitungssohle und/oder Bodenhorizonten, die das Wurzelwachstum einschränken, sowie in Regionen mit erhöhter Trockenheit. Erfolgreiche Unterbodenmelioration könnte etwa 45-60 % (Schneider et al. 2017) der Nährstoff- und Wasservorräte im Ackerboden für Nutzpflanzen zugänglich machen, wobei die Maßnahmen im von Sommertrockenheit gekennzeichneten Nordostdeutschland potenziell am vielversprechendsten sind.

Trotz dieser positiven Erkenntnisse hat das Soil³-Projekt auch gezeigt, dass für die Umsetzung eines großflächigen Unterbodenmanagements in Deutschland mehrere Hürden bestehen. Dies betrifft bei der biologischen Unterbodenmelioration vor allem die zu erwartenden Opportunitätskosten sowie fehlende Vermarktungsmöglichkeiten für Luzerne. Für die Umsetzung der mechanischen Unterbodenmelioration in Verbindung mit dem Einmischen von Kompost herrschen zudem derzeit gesetzliche Unklarheiten, die einer Umsetzung in der Praxis entgegenstehen. Deshalb sind unterstützende politische Maßnahmen notwendig. Die nachfolgenden Empfehlungen richten sich an politische Entscheidungsträger*innen auf Landes- und Bundesebene:

1. Anpassung des politischen Förderrahmens zur Ausweitung des Luzerneanbaus: Die Multifunktionalität der Luzerne und der durch sie generierte gesellschaftliche Nutzen liefern Argumente für eine Ausweitung des Luzerneanbaus. Da die hierfür verwendeten Flächen bei mehrjährigem Anbau mit der Nahrungsmittelproduktion konkurrieren, ist eine integrierte ökologische Betrachtung der Bewirtschaftungssysteme notwendig. Luzerneanbau sollte auf Ebene der Bundesländer im Rahmen von Öko-Regelungen und Agrarumweltprogrammen verstärkt gefördert werden.

2. Schaffung effektiver Wertschöpfungsketten und Vermarktungsstrategien für innovative Luzerneprodukte: Während Luzerne bisher meist als Tierfutter oder

Gründerling verwertet wird, haben neue Produkte auf Basis dieser Feldfrucht ein signifikantes Potenzial für die Schaffung innovativer Wertschöpfungsketten im Rahmen einer regionalen Bioökonomie. Um dieses Innovationspotenzial zu realisieren, bedarf es zielgerichteter Forschungsförderung sowie politischer Unterstützung beim Aufbau regionaler Infrastrukturen.

3. Verstärkte Zusammenarbeit mit Praxisakteuren für einen verbesserten Wissenstransfer: Um vorhandenen Umsetzungshürden in der landwirtschaftlichen Praxis zu begegnen, sollten die Bundesländer Schulen, Berufsschulen und landwirtschaftliche Fachschulen Mittel bereitstellen, damit diese auf der Grundlage von wissenschaftlichen Forschungsergebnissen zielgerichtete Unterrichtsformate und -materialien konzipieren und etablieren können. Daneben sollten regionale Reallabore gefördert werden, die relevanten Akteuren aus Wissenschaft, landwirtschaftlicher Praxis und Industrie den Raum für gemeinsame Forschungs- und Umsetzungsarbeiten bietet.

4. Schaffung rechtlicher Klarheiten für Meliorationsmaßnahmen im Unterboden: Das Einbringen von Kompostmaterial wie auch andere mechanische Eingriffe in den Unterboden könnte nach Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) als verboten gelesen werden. Die Rechtsprechung bedenkt dabei die im Rahmen des Soil³-Projekts untersuchte innovative Technik nicht, obwohl diese im Sinne der Verordnung zum Bodenschutz beitragen kann. Hier ist eine juristische Klärung zwischen BMEL, BMUV und BMBF und im Bedarfsfall eine Novellierung der BBodSchV notwendig, um Unterböden besser in eine nachhaltigere landwirtschaftliche Produktion zu integrieren.

5. Weitergehende Forschungsförderung für mechanische Unterbodenmelioration: Der Forschungsrahmen für Unterbodenlockerung sollte auf einer noch größeren Vielfalt an Flächen und Rahmenbedingungen praktisch erprobt werden und auch über den im Soil³-Projekt untersuchten Zeitraum

hinaus, um vorliegende Tendenzen weiterentwickeln zu können und offene Fragen in der Dynamik der Bodenphysik und -biologie noch weiter zu ergründen.

Die Grundlage für die genannten Politikempfehlungen bilden neben den gewonnenen Erkenntnissen aus den Feld- und Praxisversuchen (1) eine umfassende Akzeptanzanalyse unter relevanten Akteuren in Deutschland, (2) Umfrageergebnisse zur Förderung

von Maßnahmen des Unterbodenmanagements aus drei Bundesländern, sowie (3) Fokusgruppendifkussionen und Interviews mit Landwirt*innen, Agrarberater*innen, Vertreter*innen regionaler und lokaler Behörden und Ämter, Vertreter*innen der Zivilgesellschaft und Wissenschaftler*innen aus dem Bereich der Bodenkunde. Im Folgenden werden die erarbeiteten Politikempfehlungen detailliert erläutert.

Anpassung des politischen Förderrahmens zur Ausweitung des Luzerneanbaus

Problemstellung:

Der Anbau von Luzerne und anderen tiefwurzelnden Kulturen wie tiefwurzelnde Zwischenfruchtmischungen stellen eine biologische Alternative zur mechanischen Tiefenlockerung dar und können die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen für Pflanzen insbesondere in verdichteten Unterböden verbessern (Schneider 2020, S. 92, Landl et al. 2019, Gaiser et al. 2012). Luzerne entwickelt sowohl eine starke Pfahlwurzel, die Bodenbereiche bis zu fünf Meter erreichen kann, als auch mehrere Verzweigungen und zahlreiche Nebenwurzeln, die ein umfangreiches Wurzelnetzwerk bilden. Basierend auf Daten und Auswertungen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Thünen-Institut 2018) sind über 70 % der landwirtschaftlich genutzten Böden auf weniger als 100 cm Bodentiefe durchwurzelbar – Hauptursache: Bodenverdichtung aufgrund intensiver landwirtschaftlicher Produktion und dadurch verursachter hoher Eindringwiderstand.

Obwohl die positiven Effekte von Luzerne seit langem bekannt sind und nachgewiesen wurden (Huang et al. 2020) ist der Anbau von Luzerne für viele landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland aus verschiedenen Gründen nicht attraktiv. Um nachhaltig Bioporen zu bilden, die sich positiv auf die Bodenqualität und den Ertrag der Nachfrüchte auswirken, ist es erforderlich, dass Luzerne mehrjährig angebaut wird (Kautz et al. 2013). Ohne innerbetriebliche Nutzungsoption als Futterpflanze ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis für viele Betriebe ungünstig. Investitionskosten und vergleichsweise geringe Deckungsbeiträge werden durch Mehrerträge der Nachfrüchte nicht amortisiert. Die Verarbeitungs- und Vermarktungsstrukturen von Luzerne über die Futterfunktion hinaus sind begrenzt und vor allem nicht flächendeckend verfügbar. Begründet ist dies u.a. in der generell stetig gesunkenen

quantitativen Bedeutung des Leguminosenanbaus seit den 1950er Jahren, der erst seit 2014 wieder Zuwachs erhält (DAFA Fachforum Leguminosen 2012; Destatis 2024).

Die Leguminosen eint ihr ackerbaulicher Mehrwert für die Bodengesundheit durch ihre Fähigkeit über die Symbiose mit Knöllchenbakterien Stickstoff aus der Luft zu binden. Man unterscheidet kleinkörnige Leguminosen wie Luzerne- und Kleearten und großkörnige Leguminosen wie Soja, Ackerbohnen, Futtererbsen und Ähnliche. Die Förderlogik von EU, Bund und Ländern ist in dieser Unterscheidung sehr inkonsistent, was dazu führt, dass Förderprogramme sowohl allgemein für Leguminosen existieren als auch unterschieden nach klein- und großkörnigen Leguminosen. Dies erschwert eine aussagekräftige Analyse und Aufbereitung der bestehenden Fördermöglichkeiten sowie die Vergleichbarkeit zwischen den Förderprogrammen der Länder. Ein höheres Förderpotenzial lässt sich ungeachtet dessen feststellen und wird im Folgenden dargestellt.

Empfehlungen:

Die genannten Hemmnisse für den Luzerneanbau sind ohne zusätzliche Anreizinstrumente mit den aktuellen Marktgegebenheiten und Förderrahmen nicht auflösbar. Deshalb empfehlen wir die Ausweitung bestehender Förderstrukturen, sowie deren Weiterentwicklung mit ambitionierten Ausbauzielen für Leguminosen im Allgemeinen und Luzerne im Speziellen. Für eine Ausweitung der Unterstützungsmöglichkeiten sprechen zusätzliche Vorteile des Luzerneanbaus für Ökosystemleistungen, die gesellschaftlich gewünscht und notwendig sind. Der Anbau von Leguminosen hierzulande bietet eine Möglichkeit zur Reduzierung der Abhängigkeit von importierten Eiweißquellen, vorrangig Sojabohnen, wie es strategisches Ziel der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL ist (BMEL 2020). Luzerne trägt aufgrund der biologischen N-Fixierung zum Stickstoffeintrag in den Boden bei, gehört außerdem zu den humusmehrenden Kulturen und

verbessert dadurch die Bodenfruchtbarkeit. So können der Einsatz mineralischer Stickstoffdünger und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen und Stickstoffbelastung der Böden und Gewässer reduziert werden. Ausreichende Stickstoffzufuhr ist essenziell für die Ertragsbildung; die Produktion synthetischer Stickstoffdüngemittel ist jedoch ein energieintensiver Prozess mit hohen Emissionen (Kugler et al. 2015). Das ausgedehnte Wurzelsystem der Luzerne und deren Mehrjährigkeit bieten zusätzlich Bodenschutz vor Wasser- und Winderosion, was aufgrund des Klimawandels und wachsender Wahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen zusätzlich an Relevanz gewinnt. Aufgrund ihrer vielfältigen positiven Funktionen kann Luzerne als wiederkehrendes Fruchtfolgefeld dazu beitragen, den Zustand der Gemeinwohlüter Boden und Wasser langfristig zu verbessern. Obwohl der Anbau von Luzerne insbesondere für konventionelle Landwirt*innen ohne Viehhaltung aus ökonomischer Sicht nicht besonders attraktiv erscheint, zeigte die im Rahmen des Soil³-Projekts durchgeführte Akzeptanzanalyse, dass Landwirt*innen von den positiven Auswirkungen der Luzerne auf den Boden überzeugt sind. Auch zeigten einige Befragte Bereitschaft, in diese Maßnahme zur biologischen Unterbodenlockerung zu investieren unter der Voraussetzung angemessener Anreize seitens der Politik (Hinzmann et al. 2021). Entsprechend empfehlen wir zu prüfen, ob bzw. wie die Förderung erweitert werden könnte.

(1) Ausweitung GAP-Förderfähigkeit

Eine Möglichkeit zur Förderung von Luzerne und anderen tiefwurzelnden Kulturpflanzen besteht darin, diese im Rahmen der Zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) besser zu integrieren. Zwar umfasst auch die Ökoregelung „Vielfältige Fruchtfolgen mit einem Mindestanteil von 10 % Leguminosen“ in der ersten Säule potenziell den Anbau von Luzerne, dennoch ist dafür keine gezielt auf Luzerne fokussierte Förderkulisse vorhanden. Auch im Zuge der Debatte zur EU-Eiweißstrategie sowie der

anstehenden Überarbeitung der GAP-Infrastruktur wäre ein entschiedenerer Einsatz der Bundesregierung auf EU-Ebene für eine attraktivere Förderung zu empfehlen.

Viele Bundesländer (BW, BY, HE, NI, NW, SN, ST, SH, TH) fördern bereits den Anbau von feinkörnigen Leguminosen inkl. Luzerne über Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM). Andere Bundesländer (BB, MV, RP, SL) fördern nur den Anbau von grobkörnigen Leguminosen. Um die Wirkung des Luzerneanbaus optimal auszunutzen zu können und einen echten Anreiz für Landwirt*innen zu bieten, bedarf es spezieller auf Luzerne zugeschnittene Förderrahmen, deren Ausgestaltung in den folgenden Abschnitten skizziert wird. Die Finanzierung ist dabei sowohl über AUKM als auch eigene Länderprogramme denkbar.

(2) Förderung von mind. zweijährigem Luzerneanbau

Um Opportunitätskosten auszugleichen ist ein finanzieller Ausgleich über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren notwendig, vor allem wenn die Bestandsbegründung als Reinsaat erfolgen soll. Dies wird verstärkt durch die Umstände, dass die Verarbeitungsinfrastruktur und Vermarktung noch nicht hinreichend entwickelt wurden und Anbaupausen von fünf bis sechs Jahren aufgrund der Unverträglichkeit mit sich selbst und mit anderen Leguminosen in der Fruchtfolge einzuhalten sind. Das Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL) hat für viehhaltende Betriebe, die Luzerne als innerbetriebliches Futter nutzen, Opportunitätskosten von durchschnittlich 720 € pro Hektar errechnet (FiBL 2023). Das Thünen-Institut (TI) kam sogar auf über 1.000 € pro Hektar (Thünen Institut 2023). Diese Untersuchungen weisen auf nötige Förderhöhen hin, damit der Luzerneanbau für Betriebe attraktiv wird.

Praxisbeispiel: Das Land Hessen (HE) fördert über die Hessischen Agrarumwelt- und Landschaftspflege-Maßnahmen (HALM 2) nachhaltige Landbewirtschaftung durch Ausgleichszahlung für die durch die Maßnahmen zusätzliche entstandene Kosten sowie Opportunitätskosten durch reduzierte Erträge. Die Verpflichtungen gelten über 5 Jahre. Luzerne kann unter der Maßnahme „Vielfältige Kulturen im Ackerbau“ gefördert werden; Luzernegras kann hierbei nicht berücksichtigt werden, da dies als Ackerfutter klassifiziert wird. Die Grundanforderungen aus der Öko-Regelung 2 müssen eingehalten werden, da diese die Grundvoraussetzung für die Teilnahme an HALM 2 C.1 darstellt.

Der Ausbau der Förderung von Luzerne als Hauptfrucht zur Futternutzung oder für alternative Verarbeitungswege sollte seitens der Länderbehörden erwogen und fachlicher Austausch hierzu mit geeigneten, anhand einer Potenzialanalyse identifizierten Regionen, angestrebt werden. Auch liegt eine Verlängerung der Förderperiode nahe. Mit Blick auf politische Förderinstrumente kann als positives Beispiel ein Förderprogramm zum mehrjährigen Futteranbau (Agrarumweltmaßnahme, Verpflichtungszeitraum: fünf Jahre) in Hessen genannt werden, dessen Konzept in der Politik breite Zustimmung gefunden hat (vgl. Praxisbeispiel).

(3) Förderung der Luzerne als Unter- und Zwischensaat

Der mehrjährige Luzerneanbau ist auch für konventionelle Betriebe mit Viehhaltung interessant. Förderungen als Untersaat wie bspw. in Sachsen für „Sommergetreidestreifen mit Untersaaten oder Sommergetreideflächen mit Untersaaten“ bieten die Möglichkeit, Luzerne und Klee als Teil der Saatmischung mitzufördern. Die in der Umsetzungspraxis bisher angewandte Auslegung deutet jedoch auf Splitterflächen und Ackerlandstreifen hin, die nur eine geringe Gesamtfläche abdecken, die von den positiven Effekten der Saatmischung profitieren können. Der Effekt für die Gesamtheit des Unterbodens ist damit ebenfalls limitiert. Die Höhe der jährlichen Zuwendung beträgt in Sachsen 1.692 € je Hektar, allerdings begrenzt auf die Ackerrandstreifen. Hier wäre zu prüfen, inwiefern eine erweiterte Förderung von Untersaaten auch auf ganzer Fläche möglich ist und welche Förderhöhe für Betriebe attraktiv wäre. Auch beim Anbau von Luzernegras ist die Fruchtfolge zu

beachten und Anbaupausen von zwei bis drei Jahren zu gewähren. Eine Inwertsetzung positiver Effekte auf Bodenorganik und -zustand sollte darüber hinaus gefördert werden.

(4) Förderung von Luzerne über Vertragsnaturschutz

Einige Bundesländer (NW, SH, TH) fördern im Rahmen des Vertragsnaturschutzes die mehrjährige Einsaat mit Luzerne oder Klee(gras). Hier gelten Fünfjahresverträge, wodurch Luzerne gut als mehrjährige Kultur angebaut werden kann. Der Fokus des Vertragsnaturschutzes liegt auf dem Schutz seltener Arten, i.d.R. Rotmilan oder Feldhamster. Auf Ackerflächen wird eine Fruchtfolge mit Eingliederung von Leguminosen, auch kleinkörnigen, über mindestens zwei Jahre finanziell gefördert. Da die Förderung allerdings mit Reduktion der Erträge und Nutzungsmöglichkeiten einhergeht, ist die Attraktivität für den Durchschnittsbetrieb eingeschränkt und damit auch das Potenzial der biologischen Unterbodenverbesserung durch diese über den Vertragsnaturschutz gebotenen Förderkulisse. Die Auswahl geeigneter Förderflächen erfolgt nach naturschutzfachlichen Kriterien. Das Bundesland finanziert diese Maßnahmen zu 100 % mit einem Kofinanzierungsanteil der EU von 47 %. Diese Maßnahmen könnten durch Anpassungen wie etwa einen Fruchtwechsel des Luzerneanbaus nach zwei Jahren attraktiver umgestaltet werden ohne den Schutz der seltenen Arten negativ zu beeinflussen.

Schaffung effektiver Wertschöpfungsketten und Vermarktungsstrategien für innovative Luzerneprodukte

Problemstellung:

Trotz der zuvor genannten betriebswirtschaftlichen Herausforderungen kann Luzerne unter bestimmten Voraussetzungen eine ökonomisch tragfähige Option sein, um den Unterboden zu verbessern und die Bodenqualität zu steigern. Das gilt insbesondere für ökologisch wirtschaftende Betriebe, die auf die Stickstoffbindung durch Leguminosen angewiesen sind, sowie für konventionelle Betriebe mit Rinderhaltung. Die Ernteprodukte der Luzerne – frisch, getrocknet oder siliert – können als hochwertiges Tierfutter genutzt werden. Im Sinne einer ökologischen Kreislaufwirtschaft sollte die Verwertung von Luzerneprodukten innerhalb des Betriebs immer Vorrang erfahren. Um die Attraktivität des Anbaus insbesondere für Betriebe ohne Tierhaltung zu steigern, gilt es jedoch, das Nutzungsspektrum für Luzerne im Rahmen regionaler Wertschöpfungsketten zu erweitern.

Empfehlungen:

Die Schaffung neuer Märkte für Luzerneprodukte erfordert ein komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure. Hier lassen sich zwei Felder identifizieren, die auf unterschiedlichen Ebenen mit geeigneten Politikinstrumenten unterstützt werden sollten: wissenschaftliche Forschung zu neuartigen Luzerneprodukten in unterschiedlichen Industriezweigen, sowie die Etablierung neuer Wertschöpfungsketten auf regionaler Ebene.

Die Verarbeitung von Luzerne zur Gewinnung von Mehrwertprodukten umfasst häufig eine **Fraktionierung**, wobei drei Fraktionierungsmethoden zu unterscheiden sind: Trockenfraktionierung, Nassfraktionierung und Fraktionierung durch das Verdauungssystem von Wiederkäuern. Die Einzelbestandteile der Luzernepflanze (Blätter, Stängel und Saft) können nach der

Fraktionierung für die Herstellung verschiedener Produkte genutzt werden. Neben der Verwendung als Tierfutter bieten sich für Luzerneprodukte weitere vielversprechende Nutzungsmöglichkeiten an (Mueller et al. 2008):

- ▶ **Biokraftstoffe:** Biokraftstoffe umfassen Ethanol, Biodiesel und andere Kohlenwasserstoffe, die entweder durch einen Fermentations- oder Gasifizierungsprozess unter Verwendung von Biomasse hergestellt werden. Luzerne ist hierfür ein aussichtsreicher Kandidat, wobei weitergehende Forschungen zu Produktionsabläufen, Wirtschaftlichkeit und Erträgen notwendig sind.
- ▶ **Stromproduktion:** Luzerne bietet das Potenzial der Nutzung als ökologisch und wirtschaftlich nachhaltige erneuerbare Energiequelle für die Stromproduktion. Das Luzerneheu wird hierbei in Blatt- und Stängelfraktionen getrennt. Die Blätter können als Eiweißfuttermittel verwendet werden, während die Stängel mittels Gasifizierung zur Stromproduktion verwendet werden können.
- ▶ **Eiweißproduktion:** Der hohe Eiweißgehalt der Luzerne kann auch außerhalb der Rinderhaltung genutzt werden, z.B. als Geflügelfutter. Das Ziel ist hierbei die Gewinnung von Eiweiß und dessen Vermarktung als gereinigtes Produkt; die extrahierten Blätter und Stängel können dabei weiterhin an Rinder verfüttert werden.
- ▶ **Nahrungsmittelproduktion:** Luzerne sprossen sind schon heute ein gängiges Nahrungsmittel. Sie haben eine hohe antioxidative Aktivität und Phytoöstrogenkonzentration, die zur Vorbeugung von Krankheiten beitragen kann. Luzerneblätter sind eine wertvolle Eiweißquelle und enthalten Vitamin C, A, E und K.
- ▶ **Pharmazeutische Industrie:** Im Rahmen von Laborversuchen konnte durch genetische Veränderungen an der Luzernepflanze bereits Insulin hergestellt werden. Luzerne kann zudem als Quelle für

Phytoöstrogene genutzt werden, die als pharmazeutisches Nebenprodukt extrahiert werden können.

- ▶ **Neuartige Verbindungen:** Luzerne kann dazu genutzt werden, um Phytase, Cellulase, Antikörper oder essbare Impfstoffe zu entwickeln, die in der Tierhaltung eingesetzt werden können. Zudem wird an der Entwicklung eines Luzernegränulats geforscht, das zur Herstellung eines biologisch abbaubaren Kunststoffes extrahiert werden kann (vgl. Praxisbeispiel).



Quelle: Christian Schneider/Ecologic Institut

Im Rahmen einer industriellen Bioökonomie sollten die Fördermaßnahmen die privatwirtschaftliche sowie öffentliche Forschung zur Weiterentwicklung innovativer Luzerneprodukte effizient unterstützen. Dies könnte sowohl im Rahmen der Nationalen Bioökonomiestrategie als auch im Rahmen regionaler Bioökonomiestrategien geschehen. Hier sollte sichergestellt werden, dass die Forschung zu Luzerneprodukten aufgrund des vielversprechenden Potenzials als Förderpriorität ausgewiesen wird. Dabei sollten interdisziplinäre Forschungsvorhaben gefördert werden, die neben der notwendigen Laborforschung auch einen Schwerpunkt auf

das Zusammenspiel mit Luzerne anbauenden und verarbeitenden Betrieben legen.

Hinsichtlich derzeitiger Vermarktungsmöglichkeiten bieten sich unterschiedliche Optionen an, z. B. eine erweiterte Futtermittelproduktion (Geflügelfutter, Schweinemast), die Produktion von Biogas sowie der Einsatz als Dünger. Teilweise ist hierfür die Errichtung neuer Produktionsanlagen notwendig, was durch Förderinstrumente auf regionaler Ebene finanziell unterstützt werden sollte, idealerweise im Rahmen einer regionalen Bioökonomiestrategie. Neben der Schaffung der technischen Infrastruktur geht es bei der Etablierung neuer, luzernebasierter Wertschöpfungsketten jedoch auch darum, Akteure entlang der Wertschöpfungskette zusammenzubringen, die gemeinsam das Ziel verfolgen, regionale Märkte für Luzerneprodukte zu entwickeln. Hier sollten regionale Entwicklungs- und Innovationsagenturen die notwendigen Instrumente und Formate bereitstellen und dabei unterstützen, relevante Akteure zu identifizieren und zusammenzubringen. Die Bereitstellung öffentlicher Gelder für eine Anschubfinanzierung der nötigen Vermarktungsstrukturen wird hierbei ggf. notwendig sein, da die aktuelle auf globalen Wettbewerb orientierte Marktlage ökologische Mehrwerte nicht in dem Umfang einpreist, dass eine finanzielle Tragfähigkeit erreicht wird.

Praxisbeispiel: Im Rahmen des Versuchsvorhabens „Proteine aus der Grünlandnutzung – ProGrün“ wird in Baden-Württemberg eine Bioraffinerie-Demonstrationsanlage dazu genutzt, proteinreichen Grünlandschnitt zu fraktionieren. Durch neu entwickelte Verfahren sollen die in Grünlandpflanzen enthaltenen Eiweiße herausgelöst werden, um diese so neben Wiederkäuern auch für die Fütterung anderer Tierarten, z. B. Schweine, oder andere Einsatzbereiche verfügbar zu machen. Aus anfallenden Nebenströmen können Ausgangsstoffe für Fermentation, Biogas-Synthese genutzt oder auch Plattformchemikalien hergestellt werden.

Verstärkte Zusammenarbeit mit Praxisakteuren für einen verbesserten Wissenstransfer

Problemstellung:

Die Forschungen im Rahmen des Soil³-Projekts haben gezeigt, dass technische Innovationen, wie die mechanische Unterbodenbearbeitung und neue bzw. wiederentdeckte Konzepte hinsichtlich des Anbaus tiefwurzelnder Futterpflanzen, zu Effizienzsteigerungen im Agrarsektor beitragen können, indem vorhandene Bodenressourcen wie Nährstoffe und Wasser besser genutzt und höhere Ernteerträge generiert werden. Während eine große Mehrheit der im Rahmen des Soil³-Projekts befragten Akteure den potenziellen Nutzen mechanischer und/oder biologischer Unterbodenbearbeitung anerkennt, waren dennoch Hürden erkennbar, die einer Umsetzung der untersuchten Maßnahmen in der landwirtschaftlichen Praxis entgegenstehen. Bezogen auf die mechanische Unterbodenbearbeitung müssen sowohl die vorhandene Skepsis hinsichtlich unbekannter Verfahren bei potenziellen Anwender*innen überwunden als auch gesellschaftliche Bedenken hinsichtlich einer augenscheinlich „invasiven“ Bodenbearbeitungsmethode ausgeräumt werden. Mit Blick auf die biologische Unterbodenbearbeitung (insbesondere Luzerneanbau) spielen gesellschaftliche Bedenken keine relevante Rolle, jedoch muss hier die vorhandene Skepsis bei potenziellen Anwender*innen hinsichtlich einer begrenzten Marktfähigkeit und/oder anfallenden Opportunitätskosten thematisiert werden.

Empfehlungen:

Das Soil³-Projekt hat gezeigt, dass Lehrerinnen und Lehrer an Schulen durchaus gewillt sind, auch ein scheinbar komplexes Themenfeld wie den Unterboden im Unterricht zu behandeln. Um diese positiven Erfahrungen fortzuführen und zusätzliche Zielgruppen aus der landwirtschaftlichen Praxis zu erreichen, müssen Lehrpläne und Unterrichtsmaterialien auf der Grundlage von wissenschaftlichen Forschungsergebnissen

erstellt und zielgerichtete Lehrveranstaltungen durchgeführt werden. Insbesondere landwirtschaftlichen Fachschulen sind wichtige Wissensvermittler für die Praxis. Schulungen und Trainings für Landwirt*innen können einen wichtigen Beitrag zur Förderung des Anbaus von Luzerne und anderen Tiefwurzlern leisten. Sie können verschiedene Aspekte abdecken, wie zum Beispiel die Auswahl des geeigneten Saatguts, die Bodenvorbereitung, die optimale Anbautechnik, das Management von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen, die Ernte- und Lagerungstechniken sowie die Verwendung von Luzerne als Futterpflanze. Neben theoretischem Wissen können praktische Übungen und Demonstrationen den Landwirt*innen helfen, das Gelernte direkt umzusetzen und die besten Anbaupraktiken zu erlernen.

Spezifische Zielgruppen mit besonderen Informationsbedürfnissen sind außerdem Berufsschulen, in denen sowohl angehende Landwirt*innen als auch landwirtschaftliche Berater*innen ausgebildet werden. Hier sollte die *Verordnung über die Berufsausbildung zum Landwirt/zur Landwirtin* idealerweise Aspekte ins Curriculum aufnehmen, die den Unterboden und dessen nachhaltiges Management betreffen. Anknüpfungspunkte könnten Themen wie Bodenfruchtbarkeit oder geschlossene Nährstoffkreisläufe sein. Auch die positiven Eigenschaften der Luzerne als „Königin der Futterpflanzen“ sollten in den Mittelpunkt gestellt werden. Die Luzerne sollte im Kontext regionaler Wertschöpfungsketten präsentiert und diskutiert werden, um so Bezugspunkte zur eigenen Region und/oder zum eigenen Betrieb zu setzen. Um Landwirt*innen und landwirtschaftliche Berater*innen für das Thema Unterboden zu sensibilisieren, sollten auch zielgerichtete Bewusstseinsbildungskampagnen, Informationsveranstaltungen, Informationsmaterialien und Best-Practice-Beispiele umgesetzt werden, mit denen die Vorteile und Potenziale des Luzerneanbaus verdeutlicht werden. Diese Aktivitäten können in enger Zusammenarbeit mit landwirtschaftlichen Verbänden,

Fachexpert*innen und landwirtschaftlichen Beratungsdiensten durchgeführt werden.

Praxisbeispiel: Im Rahmen des [Demonet-KleeLuzPlus](#) zeigen institutionelle Partner aus Wissenschaft und Politik sowie über 70 konventionell und ökologisch wirtschaftende Demonstrationsbetriebe die Potenziale kleinkörniger Leguminosen wie Klee und Luzerne auf. Ein Hauptziel des bundesweiten Demonstrationsnetzwerks besteht darin, durch Wissenstransfer in Praxis, Beratung und Bildung die Bedeutung eines nachhaltigen Futteranbaus auf Basis kleinkörniger Leguminosen an landwirtschaftliche Akteure zu kommunizieren. Betrieben werden Optionen aufgezeigt, wie die Futterleguminosen sinnvoll verwertet werden können.

Die praktische Umsetzung und Erprobung innovativer Maßnahmen des Unterbodenmanagements sollte über das Soil³-Projekt hinaus weiter gefördert werden, idealerweise im Rahmen langfristig angelegter, transdisziplinärer Forschungsvorhaben. Mit dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) initiierten Reallabore-Gesetz sollen einheitliche und innovationsfreundliche Rahmenbedingungen für Reallabore und neue Freiräume für die Erprobung von Innovationen geschaffen werden. Im Rahmen regionaler Reallabore können Wissenschaftler*innen und potenzielle Anwender*innen (Landwirt*innen, landwirtschaftliche Berater*innen, Lohnunternehmen etc.) gemeinsam unterschiedliche, auch über die im Rahmen des Soil³-Projekts hinaus erprobten Varianten des Unterbodenmanagements umsetzen, praxisrelevante Ergebnisse generieren und kontextspezifische Leitlinien für die Umsetzung formulieren. Um diese Freiräume auch zur weiteren Erprobung von Methoden der mechanischen und biologischen Unterbodenmelioration unter Einbeziehung relevanter Praxisakteure nutzen zu können, müssen bestimmte Voraussetzung erfüllt sein:

- Praxisakteure sollten schon bei der Konzipierung der Reallabore beteiligt sein und hierfür eine finanzielle Entschädigung erhalten.
- Landwirt*innen müssten angemessen entschädigt werden, um ihre Beteiligung und Rolle als Mitforschende zu würdigen. Zudem müssten etwaige Opportunitätskosten (z. B. beim Feldfruchtanbau) kompensiert werden.
- Ein Förder- und Umsetzungszeitraum sollte idealerweise zehn Jahre und länger betragen.

Praxisbeispiel: Das Projekt [„Leitbetriebe Ökologischer Landbau in NRW“](#) vernetzt Praxis, Beratung und Forschung durch die Zusammenarbeit von 30 ökologisch wirtschaftenden Betrieben, der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen sowie der Universität Bonn. Im Rahmen dieses seit 1993 laufenden Projekts wurden dem Kredo der transdisziplinären Forschung entsprechend die Forschungsschwerpunkte immer wieder den Bedürfnissen der Praxis angepasst. Gleichzeitig wurden die notwendigen Voraussetzungen geschaffen, um ein langfristiges Engagement der beteiligten Betriebe zu gewährleisten.

Schaffung rechtlicher Klarheiten für Meliorationsmaßnahmen im Unterboden

Problemstellung:

Am 1. August 2023 trat die novellierte Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) in Kraft. § 6 BBodSchV regelt allgemeine Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien auf oder in den Boden. § 6 Abs. 11 S. 4 BBodSchV lautet:

„Das Einbringen von nährstoffreichen organischen Materialien, insbesondere Klärschlamm, Kompost oder Gärsubstrate, in den Unterboden oder Untergrund ist auch im Gemisch mit Bodenmaterial, Baggergut oder anderen mineralischen Materialien unzulässig.“

Diese Formulierung lässt sich dahingehend verstehen, dass die mechanische Unterbodenmelioration, so wie sie im Rahmen des Soil³-Projekts erprobt wurde, verboten ist. Denn bei der Technik wird Kompost in den Unterboden eingebracht.

Dieses Ergebnis ist allerdings kaum mit dem Sinn und Zweck der Vorschrift vereinbar. Dieser ergibt sich aus der Gesetzesbegründung (BT-Drs. 19/29636), der Vollzugshilfe sowie § 1 BBodSchV. Danach dient die Norm dazu, schädliche Bodenveränderungen sowie Beeinträchtigungen des Grundwassers zu verhüten. Eine diesbezügliche Gefahr geht jedoch von der Soil³-Methode nicht aus, wie die Forschungsergebnisse belegen. Im Gegenteil, die Methode dient gerade dazu, die Bodengesundheit zu schützen und den Bodenzustand zu verbessern und hat hierzu großes Potenzial. Sie entspricht damit dem Regelungszweck der BBodSchV und kann dazu beitragen, deren Ziele zu erreichen.

Bei der Soil³-Methode handelt es sich um ein innovatives Verfahren, welches bei Normerlass noch nicht bekannt war. Vieles spricht dafür, dass der Ordnungsgeber die Vorschrift bei Kenntnis der Methode anders

formuliert hätte. Denn ein Verbot innovativer Verfahren, deren Anwendung der Bodengesundheit und dem Bodenzustand zugutekommen, widerspricht dem erkennbaren Willen des Ordnungsgebers. Damit liegen die Voraussetzungen einer teleologischen Reduktion vor:

„Wenn eine Vorschrift nach ihrem Wortsinn Sachverhalte erfasst, die sie nach dem erkennbaren Willen des Gesetzgebers nicht erfassen soll, sind Gerichte befugt, den Wortlaut der Vorschrift zu korrigieren, und ist eine überschießende Regelung im Wege der teleologischen Reduktion auf den ihr nach Sinn und Zweck zugeordneten Anwendungsbereich zurückzuführen [...]“.¹

Der zu weit geratene Anwendungsbereich des § 6 Abs. 11 S. 4 BBodSchV ist demnach von den Gerichten so einzuschränken, dass er die Soil³-Methode nicht erfasst.

Aufgrund des Wortlauts des § 6 Abs. 11 S. 4 BBodSchV besteht jedoch ein gewisses Risiko, dass Teile der Rechtsanwendung die Soil³-Methode trotz ihrer positiven Wirkungen auf Bodengesundheit und Bodenzustand für unzulässig erachten. Es ist anzunehmen, dass sich die daraus resultierende Rechtsunsicherheit hemmend auf die weitere Forschung an der Soil³-Methode sowie deren Anwendung in der Praxis auswirkt.

Empfehlungen:

In Anbetracht der vorliegenden Forschungsergebnisse empfiehlt das Soil³-Konsortium eine rechtliche Klarstellung anzustreben in der konkreten Sachfrage seitens der zuständigen Ministerien und ein fachlicher Austausch mit dem konkreten Ziel zu prüfen, inwiefern die aktuelle Auslegung der Norm die Einbringung von Kompost mithilfe der Soil³-Methode verbietet und unter welchen Voraussetzungen ermöglicht. Bei Bedarf ist eine Novellierung anzuraten, um innovative Verfahren zur nachhaltigeren Bodennutzung nicht zu unterbinden.

¹ BVerwG, 4 CN 5/13 v. 7.5.2014, Abs. 14 = NVwZ 2014, 1170 Abs. 14.

Weitergehende Forschungsförderung für mechanische Unterbodenmelioration

Problemstellung:

Die im Rahmen des Soil³-Projekts erprobte mechanische Unterbodenmelioration hat nachweislich positive Effekte auf verschiedene Aspekte der Bodenqualität gezeigt. Die Untersuchungen von Bauke et al. (2024) belegen eine Steigerung der Nährstoffkonzentration und -verfügbarkeit im Boden, eine Förderung des Wurzelwachstums sowie eine signifikante Verbesserung der Pflanzennährstoffe und der Gesamterträge.² Trotz dieser vielversprechenden Ergebnisse und der bereits gewonnenen Erkenntnisse besteht weiterhin Forschungsbedarf, um bestehende Forschungslücken zu schließen und potenzielle Anwendungsbereiche umfassender zu erforschen. Für ein breiteres Anwendungsgebiet muss die Überprüfung im Versuch erfolgen, da die bisherigen Erkenntnisse sich auf ein bestimmtes Set an Standortbedingungen beschränken.

Empfehlungen:

Die mechanische Unterbodenbearbeitung in Kombination mit der Einbringung von organischem Substrat kann aufgrund des im Substrat vorhandenen Stickstoffs potenziell zu **Nitratauswaschungen** im Unterboden führen. Die vorliegenden Daten aus dem Soil³-Projekt zeigen jedoch, dass im Rahmen der Feldversuche nach der Anwendung der Soil³-Methode keine erhöhten Nitratkonzentrationen im Unterboden vorherrschen. Im Vergleich zu konventionellen Bodenbearbeitungstechniken wurde daher kein erhöhtes Auswaschungsrisiko festgestellt (Bauke et al. 2024), auch nicht auf sandigen Böden mit standortbedingt hohem Verlustpotenzial. Hieraus ergibt sich ein konkreter Forschungsbedarf im Hinblick auf eine genauere Erfassung des Mineralisierungspotenzials für Stickstoff aus dem eingebrachten

Kompost. Dies kann nicht aus bestehenden Studien zur Kompostmineralisierung im Oberboden abgeleitet werden, sondern sollte unter den spezifischen Bedingungen in den Unterböden unterschiedlichster Bodentypen betrachtet werden. Aufgrund der potenziell langsameren Mineralisierungsraten gegenüber dem Oberboden sollten hier insbesondere auch langfristige Effekte über die im Projekt erforschten Zeiträume nach der Unterbodenbearbeitung hinaus in Betracht gezogen werden. Darüber hinaus ist eine weitere Nachverfolgung der Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen oder Stickstoffverlagerung innerhalb des Bodenprofils unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen und Fruchtfolgen nötig, um eine präzisere Abschätzung des Auswaschungsrisikos zu ermöglichen.

Angesichts der nachgewiesenen höheren Erträge durch das mechanische Einbringen von Kompost, die nicht eindeutig auf Veränderungen in Boden- oder mikrobiellen Parametern zurückgeführt werden konnten, ist es erforderlich, die komplexen **Wechselwirkungen** zwischen den veränderten physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften weiter zu erforschen. Hieraus ergibt sich ein konkreter Forschungsbedarf: Die Vermischung des Unterbodens mit organischen Materialien sollte zur verstärkten Bildung von Organo-Mineralkomplexen und Aggregaten führen. Dies könnte einerseits zu einer Stabilisierung der eingebrachten organischen Substanz beitragen. Andererseits führt eine stärkere Aggregation ggf. auch zu Veränderungen der Durchlüftung und hydraulischen Eigenschaften des Bodens, welches im weiteren Verlauf auch wieder die Mineralisierung der organischen Substanz sowie die Stoffverlagerung innerhalb des Bodens beeinflusst. Diese Rückkopplungsmechanismen zwischen veränderten strukturellen Eigenschaften und biochemischen Prozessen sind im

² Die positiven Effekte auf die Ertragsleistung von Kulturpflanzen sind relativ zeitnah aufgetreten. Dies verdeutlicht das kurzfristige Potenzial der Unterbodenlockerung in Kombination mit dem Einbringen vom Kompost, insbesondere in Anbaujahren, in denen Trockenperioden während der kritischen Phasen der Ertragsbildung auftreten.

Rahmen des Soil³-Projekts bislang nicht betrachtet worden.

Bauke et al. (2024) konnten nach nur zwei Jahren Unterbodenmelioration insgesamt keine höhere Nutzung der vorhandenen Ressourcen durch die Pflanzen feststellen, was eine häufige Beobachtung bei Kulturen ist, die auf Böden mit einer höheren Nährstoffversorgung als notwendig wachsen (siehe z. B. Rose et al. 2016; Weih et al. 2018). Dies deutet darauf hin, dass die **Menge an Kompost** möglicherweise angepasst werden muss, um eine Überversorgung zu vermeiden. Hieraus ergibt sich ein konkreter Forschungsbedarf: Auch hier ist zunächst ein besseres Verständnis nötig wann (wann im Jahresverlauf, wie viele Jahre nach der Unterbodenbearbeitung), unter welchen Bedingungen (z. B. Bodentyp, Wetter), und in welcher Menge Nährstoffe aus dem eingebrachten Kompost mineralisiert werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen könnte eine bessere Abstimmung der benötigten Kompostmengen für die jeweiligen betriebsspezifischen Fruchtfolgen erarbeitet werden. Darüber hinaus ist auch bislang ungeklärt, welche Effekte die Unterbodenbearbeitung unter unterschiedlichen Düngeregimen erzeugt. Dies ist relevant für eine weitere Bewertung und Optimierung des Verfahrens durch die Abstimmung der regelmäßigen oberflächlich ausgebrachten Düngung mit den langfristig aus dem Kompost im Unterboden zur Verfügung stehenden Nährstoffen.

Die Ergebnisse aus dem Soil³-Projekt zeigen, dass neben Bioabfallkompost auch **alternative Materialien** wie Grünschnitt, Stroh und Sägespäne Potenzial bieten, auch wenn mit dem Einbringen vom Kompost bessere Ergebnisse erzielt werden. Die Unterschiede in den Auswirkungen von Bioabfallkompost im Vergleich zu Grünschnittkompost sollten genauer analysiert werden, um optimale Anwendungspraktiken zu entwickeln. Die Zugabe von Grünschnitt zum Beispiel hatte in den ersten beiden Jahren nach der Bodenverbesserung weniger ausgeprägte Effekte, könnte über längere

Zeiträume hinweg dennoch vorteilhaft werden (Bauke et al. 2024). Vor diesem Hintergrund sollte die genaue Kompostzusammensetzung, sowie das Einbringen von alternativen Substraten und ihre langfristige Wirkung in der Forschung stärker berücksichtigt werden, um deren Nutzen und Effektivität nicht nur auf den Unterboden, sondern auch darüber hinaus zu evaluieren.

Da die hier vorliegenden Erkenntnisse auf einer Untersuchung begrenzter Standorte basieren (siehe folgende Infobox), wäre es wünschenswert, die Methodik auf weiteren Standorten verschiedener Bodenbedingungen im Praxisversuch zu erproben und längerfristig zu begleiten und evaluieren. Gemeinsam mit den unter der Empfehlung „Verstärkte Zusammenarbeit mit Praxisakteuren für einen verbesserten Wissenstransfer“ skizzierten Praxispartner*innen wäre damit das Ziel, die zuvor genannten offenen Fragen als Fortentwicklung des bereits erkennbaren Erfolge der Soil³-Methodik zu erforschen.



Modell der im Praxisversuch erprobten Soil³-Ausbringungstechnik / Quelle: Christian Schneider/Ecologic Institut

*Im Rahmen des Soil³-Projekts wurden neben Dauerfeldversuchen und Mikokosmenversuche **drei zentrale Feldversuche (CF)** angelegt, um:*

- ▶ die technische und ökonomische Machbarkeit bestimmter Bearbeitungspraktiken einzuschätzen (CF1),
- ▶ den interaktiven Nutzen von Leguminosen-Vorfrüchten und mechanischer Unterbodenmelioration zu zeigen (CF 2) und
- ▶ unser Konzept der Unterbodenmelioration an einem sandigen Standort mit trockenem Klima zu validieren (CF 3).

Feldversuch 1 (Klein-Altendorf bei Bonn) wurde mit unterschiedlichen Techniken der streifenweisen Unterbodenmanipulation errichtet und besteht aus drei Teilversuchen: In CF 1-1 wurden unterschiedliche Materialien für die Unterbodenmelioration getestet (Biokompost, Grünschnittkompost, Stroh, Sägespäne). In CF 1-2 wurden die Mengen des eingebrachten Komposts variiert (30, 50 oder 70 m³/ha). In CF 1-3 wurden unterschiedliche Genotypen angebaut.

Feldversuch 2 (Klein-Altendorf bei Bonn) beinhaltet Varianten mit und ohne Luzerne als Vorfrucht. Nach dem Ende der Vorfruchtphase 2018 wurden verschiedene Methoden der mechanischen Unterbodenmelioration angewandt.

Feldversuch 3 (Thyrow bei Berlin) folgt dem Experimentdesign von CF 1 und CF 2 mit standort-angepassten Modifikationen.

Um die positiven Effekte unserer Meliorationstechnik zu demonstrieren, werden die entsprechenden Parameter und Unterbodeneigenschaften untersucht:

- ▶ Erträge und Ertragsqualität der Feldfrüchte
- ▶ verschiedene Parameter des Wurzelwachstums wie z.B. Wurzellängendichte
- ▶ grundlegende Bodeneigenschaften wie Lagerungsdichte, Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte, pH, Textur, elektrische Leitfähigkeit
- ▶ Nährstoffgehalte und Nährstoffnutzungseffizienz
- ▶ Wassergehalte und Wasserdynamik
- ▶ Unterbodenheterogenität hinsichtlich Kohlenstoffgehalten und Bioporen
- ▶ Zusammensetzung und funktionelle Eigenschaften der mikrobiellen Gemeinschaft, Wurzelpathogene

Mehr unter: www.soil3.de

Literaturhinweise

Bauke et al. 2024: Bauke S.L., Seidel S.J., Athmann M., Berns A.E., Braun M., Gocke M.I., Guigue J., Kautz T., Kögel-Knabner I., Ohan J., Rillig M., Schloter M., Schmittmann O., Schulz S., Uhlig D., Schnepf A., A-melung W. 2024. Short-term effects of subsoil management by strip-wise loosening and incorporation of organic material. *Soil & Tillage Research* 236, 105936. Doi: 10.1016/j.still.2023.105936.

DAFA Fachforum 2012: Fachforum LeguminosenWissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz; Herausgeber Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA), 07/2012; ISBN 978-3-86576-092-0

Destatis 2024: Statistisches Bundesamt, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/ackerland-hauptnutzungsarten-kulturarten.htm>, zuletzt abgerufen am 21.06.2024

FiBL 2023: Arbeitspapier – Status quo und Maßnahmenplanung, FiBL Projekte GmbH in Zusammenarbeit mit IFAB

Iltner 2024: Iltner S., Gerdes H., Athmann M., Bauke S.L., Gocke M., Guigue J., Jaiswal S., Kautz T., Schmittmann O., Schulz S., Seidel S. 2020. The impact of subsoil management on the delivery of ecosystem services. *BonaRes Series* 2020/5. Doi: 10.20387/BonaRes-BSZH-QBKN.

Mueller et al. 2008: Mueller S.C., Undersander D.J., Putnam, D.H 2008. Alfalfa for Industrial and Other Uses. Publication 8305 7/2008, University of California.

Rose et al. 2016: Rose TJ, Mori A, Julia CC, Wissuwa M (2016) Screening for internal phosphorus utilisation efficiency: comparison of genotypes at equal shoot P content is critical. *Plant Soil* 401:79–91. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2565-7>

Schmittmann et al. 2021: Schmittmann O, Christ A, Schulze Lammers P. Subsoil Melioration with Organic Material—Principle, Technology and Yield Effects. *Agronomy*. 2021; 11(10):1970. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101970>

Schmittmann 2023: Schmittmann O., Schulze Lammers P. 2023. Assessing Subsoil Conditions with an ASABE conform Vertical Penetrometer – Development and Evaluation. *Sensors* 23, 1306. Doi: 10.3390/s23031306.

Schneider et al. 2017: F. Schneider et al. *Soil & Tillage Research* 174 (2017) 193–204, <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.07.005>

Sutton et al. 2011: Sutton, M., Oenema, O., Erisman, J. et al. Too much of a good thing. *Nature* 472, 159–161 (2011). <https://doi.org/10.1038/472159a>

Thünen Institut 2018: Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al (2018) Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. *Thünen Rep* 64, DOI:10.3220/REP1542818391000

Thünen Institut 2023: Wüstemann F, Schroeder LA, Witte T de, Don A, Heidecke C (2023) Steckbriefe zu humuserhaltenden und mehrenden Maßnahmen auf Ackerflächen: Projektbericht des Thünen-Instituts im HumusKlimaNetz., Thünen Working Paper 231, DOI:10.3220/WP1706166557000

Weih et al. 2018: Weih, M., Hamnér, K. & Pourazari, F. Analyzing plant nutrient uptake and utilization efficiencies: comparison between crops and approaches. *Plant Soil* 430, 7–21 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3738-y>

IMPRESSUM

Kontakt

Holger Gerdes
Ecologic Institut
Pfalzburger Straße 43/44
10717 Berlin

E-Mail

holger.gerdes@ecologic.eu

Datum

01.08.2024

Vorgeschlagene Zitierweise

Gerdes, Holger, Kiresiewa, Zoritzta, Schneider, Christian, Dengler, Felix, und Iltner, Sophie (2024): Empfehlungen für die Umsetzung eines nachhaltigen und gesellschaftlich akzeptierten Unterbodenmanagements in Deutschland. Ecologic Institut, Berlin.

Website

www.ecologic.eu

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



BONARES