



Gesündere Böden, geringere Kosten, nachhaltige Erträge: Wie Konservierende Landwirtschaft Vorteile erntet.

NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V. | Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung (GKB) | Hochschule Weihenstephan/Triesdorf (HSWT)

Impressum

© 2025, NABU-Bundesverband

1. Auflage 03/2025

NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V.

Charitéstraße 3

10117 Berlin

Tel.: +49 (0)30.28 49 84-0

NABU@NABU.de

www.NABU.de

Text

Maximilian Meister

Autor*innen

Maximilian Meister (NABU e. V.)

Dr. Jana Epperlein (Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung, GKB e. V.)

Hannes Niedermüller (Hochschule Weihenstephan/Triesdorf, HSWT)

Prof. Dr. Ulrich Groß (Hochschule Weihenstephan/Triesdorf, HSWT)

Infografik

Rafael von Versen

Gestaltung

Rafael von Versen | süsSES+saures Berlin

Bildnachweise

Seite 1, 26, 35 (unten), 37, 41 (oben), 49: NABU/M. Schäf

Seite 19 (oben und unten), 32 (oben und unten): NABU/H. May

Seite 2, 5 (unten), 12, 15, 24 (oben und unten), 28 (oben und unten), 30 (oben und unten), 35 (unten), 43 (oben und unten): NABU/V. GehrmanN

Seite 5 (oben), 12 (oben), 25, 26 (oben und unten), 41 (unten): GKB e.V./J. Epperlein

Inhalt

1. Zusammenfassung	4
2. Aktuelle Herausforderungen	6
2.1 Beitrag zu Treibhausgasemissionen	6
2.2 Anpassung an den Klimawandel	6
2.3 Beitrag zum Biodiversitätsverlust und Naturressourcen	7
2.4 Abhängigkeit und steigende Kosten von Betriebsmitteln	7
2.5 Politische und gesellschaftliche Anforderungen	9
2.6 Flächenkonkurrenz	9
3. Konservierende Landwirtschaft als Lösungsweg?	10
4. Eine Begriffsklärung	11
5. Auswahl der Betriebe und Datenerhebung	16
6. Einfluss der Konservierenden Landwirtschaft auf den Betriebsmitteleinsatz	20
6.1 Verbrauch von Pflanzenschutzmitteln im Vergleich	20
6.2 Stickstoffeinsatz in Konservierender Landwirtschaft	22
6.3 Treibstoffverbrauch	22
7 Bodenbiodiversität und -gesundheit	26
8 Erträge unter Konservierender Landwirtschaft	30
9. Ökonomische Auswertung	32
9.1 Auswirkungen der Umstellung auf Konservierende Landwirtschaft auf den Einsatz von Betriebsmitteln sowie den Ertrag	32
9.2 Berechnung des Deckungsbeitrags: Vergleich zwischen konventioneller Landwirtschaft und Konservierender Landwirtschaft (CA)	34
10. Natürliche Kreisläufe nutzen	38
10.1 Die drei ineinandergreifenden Prinzipien der Konservierenden Landwirtschaft	38
10.2 Förderung der Biodiversität	39
10.3 Positiver Einfluss auf den Wasserhaushalt	40
11. Politische Forderungen und Handlungsempfehlungen	42
Anhang	44
Methodik: Vergleichsdaten für Pflanzenschutzmittel- & Stickstoffeinsatz	44
Methodik: Treibstoffanalyse	45
Methodik: Bodenproben	47
Methodik: Spatenprobe zur Regenwurmzählung	48

1 ● Zusammenfassung

Die Landwirtschaft steht vor großen Herausforderungen – Klimawandel, Biodiversitätsverlust, stagnierende Erträge und hohe Betriebsmittelkosten. Sie verursacht rund acht Prozent der direkten Treibhausgasemissionen Deutschlands, hinzu kommen 36,5 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen durch Boden-degradierung. Der LULUCF-Sektor wandelte sich von einer Kohlenstoffsenke im Jahr 1990 zu einer Emissionsquelle von 3,6 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr 2023. Gleichzeitig sind nicht nur Insekten- und Vogelpopulationen in landwirtschaftlichen Gebieten drastisch zurückgegangen, sondern auch essenzielle bodenbiologische Prozesse, Nährstoffkreisläufe und andere ökologische Regulierungsmechanismen wurden gestört. Dies gefährdet zentrale Ökosystemleistungen, wie Bestäubung, biologische Schädlingskontrolle, Wasserrückhalt sowie die langfristige Bodenfruchtbarkeit, und damit die Produktionsgrundlagen der Landwirtschaft selbst.

Stagnierende Erträge und ein hoher Verbrauch von Betriebsmitteln verschärfen diese Herausforderungen zusätzlich. Die Konservierende Landwirtschaft (Conservation Agriculture, CA) stellt eine nachhaltige Lösung dar, indem sie auf minimalen Bodeneingriff, dauerhafte Bodenbedeckung und vielfältige

Fruchtfolgen setzt. Diese Ansätze helfen, Böden zu regenerieren, Emissionen zu reduzieren, Natur zu schonen und die Widerstandsfähigkeit der Landwirtschaft zu erhöhen. Während die konservierende Bodenbearbeitung bereits 49 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche ausmacht, bleibt der Anteil der Konservierenden Landwirtschaft mit nur etwa einem Prozent verschwindend gering. Auf 40 Prozent der Ackerflächen wird weiterhin gepflügt.

Die vorliegende Studie, durchgeführt vom NABU in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung (GKB e.V.) und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), basiert auf Daten von 17 Beispielbetrieben in vier bodenklimatischen Regionen Deutschlands, die bereits seit mehreren Jahren im CA-System wirtschaften. Untersucht wurden Betriebsmittelverbrauch, Bodengesundheit und Erträge in vier zentralen Ackerkulturen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Umstellung auf CA sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bietet: bis zu 75 Prozent weniger Treibstoffverbrauch, bis zu 20 Prozent weniger Düngemittel (durchschnittlich 14 Prozent), bis zu 70 Prozent geringeres ökologisches und gesundheitliches Risiko durch Pflanzenschutzmittel (rund

50 Prozent im Durchschnitt) sowie ein um bis zu 16 Prozent höherer Deckungsbeitrag pro Hektar und Jahr. Gleichzeitig stärkt eine verbesserte Bodengesundheit die Biodiversität und die Bodenfruchtbarkeit.

Angesichts der drängenden ökologischen Herausforderungen ist es erforderlich, neben der Förderung des Ökolandbaus auch Ansätze wie CA und regenerative Landwirtschaft gezielt auszubauen. Unbürokratische Förderprogramme sollten die Anschaffung von minimal-invasiven Maschinen (z. B. Direktsaattechnik) sowie Zwischenfrucht-Saatgut unterstützen. Ergebnisbasierte Honorierungen für ökologische Leistungen und Ökoregelungen zur Förderung dauerhafter Bodenbedeckung durch vielfältige Zwischenfrüchte sind entscheidend, um die Transformation der Landwirtschaft voranzutreiben. Konservierende Landwirtschaft kann eine Weiterentwicklung für alle Anbausysteme darstellen – sowohl für konventionelle Betriebe als auch für den Ökolandbau. Durch eine Kombination dieser nachhaltigen Anbau-praktiken kann die langfristige Resilienz der Landwirtschaft sichergestellt werden.



2 ● Aktuelle Herausforderungen

Das deutsche Ernährungssystem und die Agrarbetriebe stehen vor einer Vielzahl an Herausforderungen, die sich aus regulatorischen, gesellschaftlichen und ökologischen Anforderungen ergeben. Hinzu kommen wirtschaftliche Belastungen, der zunehmende Druck durch den Klimawandel sowie strukturelle Herausforderungen, wie der Mangel an Hofnachfolger*innen. Ob die Branche die große Zahl der Herausforderungen als Chance für eine grundlegende Neuausrichtung nutzen kann, wird maßgeblich von politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen abhängen.

2.1 Beitrag zu Treibhausgasemissionen

Die Landwirtschaft trägt signifikant zu den Treibhausgasemissionen Deutschlands bei. Im Jahr 2022 war sie für rund acht Prozent der direkten Emissionen Deutschlands verantwortlich, etwa 61,7 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente¹. Hinzu kommen 36,5 Millionen Tonnen CO₂ aus der landwirtschaftlichen Landnutzung, insbesondere durch Bodendegradierung durch Moorböden. Der Sektor LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) hat sich von einer bedeutenden Kohlenstoffsенке mit einer jährlichen Netto-Speicherung von 40 Millionen Tonnen CO₂ im Jahr 1990 zu einer Quelle von 3,6

Millionen Tonnen CO₂ im Jahr 2023 gewandelt². Obwohl die Emissionen der deutschen Landwirtschaft seit 1990 von 80,3 Millionen Tonnen auf 60,3 Millionen Tonnen gesenkt wurden, stieg ihr relativer Anteil an den Gesamtemissionen von 6,7 Prozent auf 8,1 Prozent, da andere Sektoren ihre Emissionen deutlicher und schneller reduziert haben. Angesichts der Klimaziele der Bundesregierung, die eine Netto-Null-Emission bis 2045 vorsehen, und der Ziele der Europäischen Union, die Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 zu senken, wird deutlich, dass der Landwirtschaftssektor noch erhebliche Anstrengungen unternehmen muss, um seinen Beitrag zur Dekarbonisierung zu leisten. Für die Landwirtschaft in Deutschland wurden spezifische Klimaschutzziele definiert, die im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt sind. Demnach sollen die jährlichen Emissionen des Sektors bis 2030 auf insgesamt 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente und damit um rund fünf Prozent reduziert werden.³

2.2 Anpassung an den Klimawandel

Häufigere und intensivere Extremwetterereignisse, wie Dürren, Starkregen und Stürme, beeinträchtigen die Erträge und gefährden die Existenz vieler landwirtschaftlicher Betriebe. Diese

Wetterextreme führen zu Ertragsschwankungen und erschweren die langfristige Planung für Landwirt*innen erheblich. Der Schutz der Boden- und Wasserressourcen ist in diesem Kontext von entscheidender Bedeutung. Böden, die durch intensive Bearbeitung geschädigt wurden, verlieren ihre Fähigkeit, Wasser zu speichern, was ihre Widerstandsfähigkeit in Dürreperioden schwächt und bei Starkregenereignissen das Risiko von Erosion und Überschwemmungen erhöht. Die fortschreitende Degradierung und der Verlust an organischer Substanz verringern die Bodenfruchtbarkeit zusätzlich, wodurch die landwirtschaftliche Produktion langfristig gefährdet wird.

2.3 Beitrag zum Biodiversitätsverlust und Naturressourcen

Zusätzlich verschärft sich der Verlust an Biodiversität in der Agrarlandschaft. Diverse Studien, wie die großangelegte Studie⁴ des iDiv und der 2024 erschienene Faktencheck Artenvielfalt⁵, zeigen, dass die Population von Insekten und Vögeln in landwirtschaftlich genutzten Gebieten seit 1990 drastisch zurückgegangen ist. Diese Ergebnisse bilden jedoch nicht den bereits vor 1990 erlittenen Verlust ab. Der fortschreitende Biodiversitätsverlust sowie die Auswirkungen des Klimawandels gefährden langfristig ökologische Funktionen, die für die Landwirtschaft unverzichtbar sind, wie Bestäubung, Schädlingsregulierung und Bodenfruchtbarkeit, und gefährden daher die wirtschaftliche Stabilität, die Ernährungssicherheit sowie die Natur erheblich.

2.4 Abhängigkeit und steigende Kosten von Betriebsmitteln

Die Abhängigkeit von hohen Betriebsmittelmengen stellt nicht nur ein ökologisches, sondern zunehmend auch ein wirtschaftliches Risiko für landwirtschaftliche Betriebe dar. Der anhaltend hohe Einsatz von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln (Abb. 1) und Energie hat zwar mehrere Jahrzehnte lang zur Steigerung der Produktivität beigetragen, langfristig zeigt sich jedoch, dass diese Strategie an ihre Grenzen stößt. Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion hat die Abhängigkeit von synthetischen Betriebsmitteln verstärkt und damit sowohl ökologische als auch ökonomische Probleme verschärft.

In den letzten Jahren sind die Preise für Betriebsmittel – insbesondere aufgrund globaler Krisen und geopolitischer Spannungen, wie dem Krieg in der Ukraine – stark gestiegen. Energieintensive Produktionsprozesse, insbesondere für Düngemittel, haben die Betriebskosten erheblich erhöht. Auch die Preise für Treibstoffe, die einen der größten Kostenblöcke in der Landwirtschaft darstellen, sind stark gestiegen. Diese Entwicklungen belasten die Rentabilität vieler Betriebe und machen die Branche anfälliger für externe Schocks. Während die Preiserhöhungen für Getreide und andere landwirtschaftliche Erzeugnisse im Jahr 2022 ausreichten, um die zusätzlichen Kosten teilweise auszugleichen, ist fraglich, ob diese Entwicklungen langfristig für alle Agrarbetriebe tragbar bleiben⁶.

ERTRAG UND PFLANZENSCUTZABSATZ

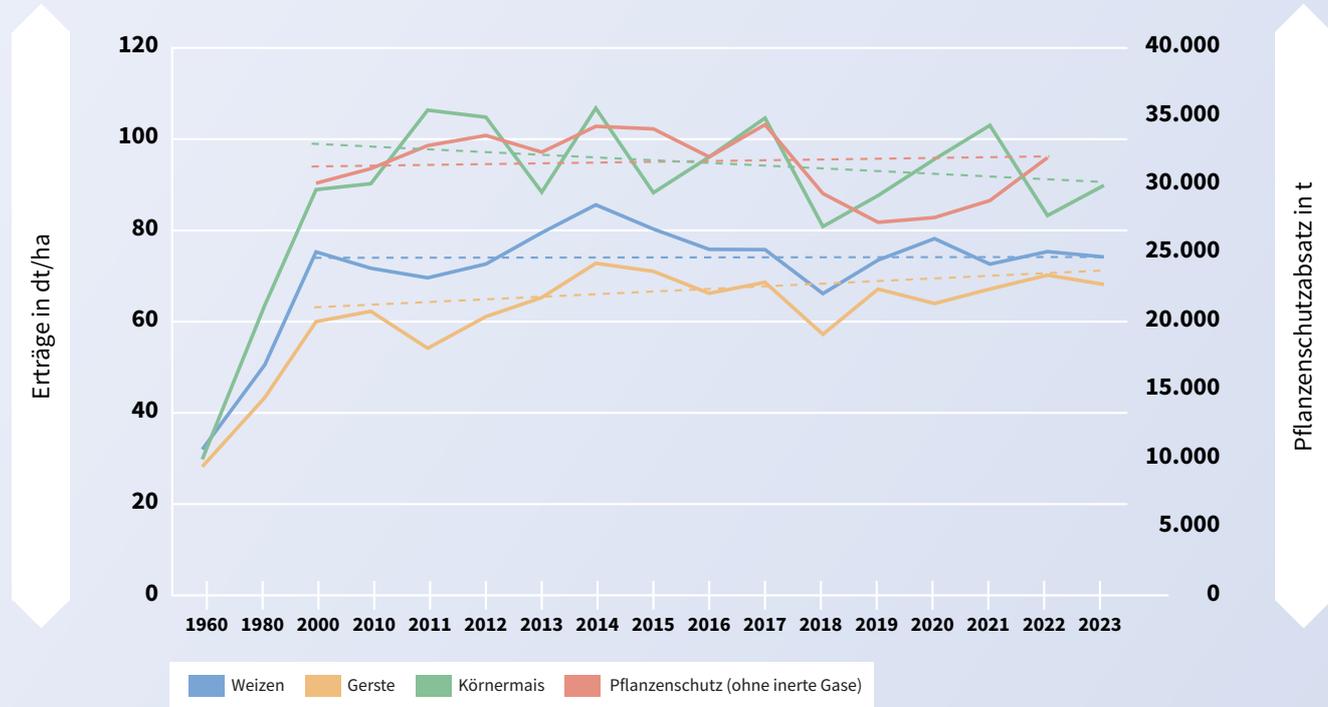


Abbildung 1: Gegenüberstellung des Ertrags (dt/ha) ausgewählter Ackerfrüchte sowie des Pflanzenschutzmittelabsatzes (in Tonnen, ohne inerte Gase) in Deutschland ab dem Jahr 2000 (inkl. Trendlinien)

2.5 Politische und gesellschaftliche Anforderungen

Neben den bereits erwähnten Klimazielen wächst auch der politische und gesellschaftliche Druck auf die Landwirtschaft, nachhaltige Veränderungen umzusetzen. Nationale und europäische Strategien, wie der Europäische Green Deal, die Farm-to-Fork-Strategie, die nationale Strategie zur biologischen Vielfalt und das 2024 vorgestellte Zukunftsprogramm Pflanzenschutz der Bundesregierung, formulieren ehrgeizige Ziele. Dazu gehören beispielsweise laut Farm-to-Fork-Strategie die Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes um 50 Prozent und des Düngemittelverbrauchs um 20 Prozent bis 2030. Das Zukunftsprogramm Pflanzenschutz strebt zudem weiterhin eine Halbierung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel in Deutschland bis 2030 an⁷.

Obwohl es derzeit noch keine verbindlichen rechtlichen Rahmenbedingungen für eine nachhaltigere Landwirtschaft gibt, existieren politische Leitlinien, die nachhaltige Praktiken in der Landwirtschaft fördern sollen. Sie spiegeln eine wachsende, wissenschaftlich gestützte Erwartungshaltung wider, dass die Branche umwelt- und ressourcenschonender wirtschaftet. Da viele dieser Vorgaben bislang nicht in geltendes Recht übersetzt wurden, hängt der Fortschritt stark von freiwilligen Initiativen, wirtschaftlichen Anreizen und dem generellen Engagement der Landwirtschaft ab.

2.6 Flächenkonkurrenz

Die landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland stehen vor einer stetig wachsenden Flächenkonkurrenz, die sich aus vielen Anforderungen ergibt. Neben Siedlungen und Verkehrsflächen trägt auch der Ausbau erneuerbarer Energien, insbesondere durch Photovoltaikanlagen, zu diesem Wettbewerb bei. Gleichzeitig wird ein erheblicher Teil der landwirtschaftlichen Flächen für die Futterproduktion genutzt, wodurch die direkte Lebensmittelproduktion weiter unter Druck gerät.

Geopolitische Krisen, wie der Krieg in der Ukraine, verdeutlichen zusätzlich die Bedeutung einer stabilen und regional orientierten Lebensmittelversorgung, was den Druck auf die begrenzten landwirtschaftlichen Flächen weiter erhöht.

Gleichzeitig steigen auch die gesellschaftlichen Erwartungen: Verbraucher*innen fordern zunehmend gesündere und nachhaltiger produzierte Lebensmittel unter Berücksichtigung von Tierwohl, Ressourcenschonung und Biodiversität. Diese Erwartungen setzen landwirtschaftliche Lieferketten und Betriebe zunehmend unter Zugzwang, ihre Produktionsweisen anzupassen und transparenter zu gestalten – auch ohne gesetzliche Verpflichtungen.

3 • Konservierende Landwirtschaft als Lösungsweg?



Einen vielversprechenden Ansatz in der Landwirtschaft, der darauf abzielt, die genannten komplexen Herausforderungen zu adressieren, stellen regenerative Praktiken und Prinzipien – und hier insbesondere die Konservierende Landwirtschaft, international bekannt als Conservation Agriculture (CA) – dar. Dieses weltweit seit langem umgesetzte und wissenschaftlich untersuchte Anbausystem vereint Maßnahmen, die den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, die Schonung von Ökosystemen und die Reduktion von synthetischen Betriebsmitteln fördern können. Die Konservierende Landwirtschaft basiert auf drei zentralen Prinzipien: minimale Bodenstörung durch minimal-invasive Aussaat, eine permanente und artenreiche Bodenbedeckung sowie eine erhöhte Pflanzendiversität.

Eine vorangegangene NABU-Studie gemeinsam mit der Boston Consulting Group⁸ verdeutlichte bereits, dass die Umsetzung dieser Prinzipien zu erheblichen wirtschaftlichen Einsparungen für die Landwirtschaft bezüglich der Energieeffizienz führen sowie gleichzeitig zur Verringerung der Treibhausgasemissionen und zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit des Agrarsystems mit Blick auf die gekoppelten Natur-, Klima- und Biodiversitätskrisen beitragen kann. In dieser Studie wird dies erstmals tiefergehend analysiert und es werden die Daten von CA-Betrieben mit Vergleichsdaten konventioneller Betriebe auf lokaler Ebene empirisch verglichen.

4 ● Eine Begriffsklärung

Mittlerweile haben sich viele Begriffe für unterschiedliche Formen der Bodenbearbeitung im öffentlichen Diskurs etabliert, die gelegentlich fälschlicherweise synonym verwendet werden, aber im Grunde verschiedene Bearbeitungen und oder Systeme bezeichnen. Daher gilt es hier zunächst, für etwas Klarheit und Differenzierung zu sorgen.

Die **wendende Bodenbearbeitung** (auf 40 Prozent der deutschen Ackerfläche) mit dem Pflug hat die höchste Bodenbearbeitungsintensität durch die Störung des Oberbodens auf bis zu 35 cm Tiefe. In diese Kategorie fällt flächenmäßig neben Teilen des konventionellen auch der ökologische Landbau, der aktuell etwa sieben Prozent der Ackerfläche in Deutschland einnimmt⁹. Öko-Betriebe setzen zum überwiegenden Teil auf wendende und in Teilen auch auf konservierende Bodenbearbeitung.

Die **konservierende Bodenbearbeitung, oft mit Mulchsaat** (auf 49 Prozent der deutschen Ackerfläche), verzichtet auf den Einsatz des Pflugs und nutzt ausschließlich nicht-wendende Geräte wie Grubber, Scheibeneggen oder zapfwellengetriebene Maschinen. Sie wird in zwei Intensitätsstufen unterteilt: mit

und ohne Lockerung. Ohne Lockerung liegt die Bearbeitungstiefe bei maximal 15 cm, mit Lockerung kann die Arbeitstiefe sogar bis zu 25 cm betragen¹⁰. Bei der Aussaat, gewöhnlich mittels Mulchsaat, wird ein Mindestbodenbedeckungsgrad von 30 Prozent oder die Einarbeitung von 112 dt organischer Substanz/ha vorausgesetzt. Diese Bearbeitung wird sowohl von konventionellen als auch von Ökobetrieben angewendet, auf rund der Hälfte der deutschen Ackerfläche. Es ist darauf hinzuweisen, dass konservierende Bodenbearbeitung nicht Teil der konservierenden Landwirtschaft ist.

Die **Direktsaat („no-till“ oder „zero tillage“)** wird bisher nur auf etwas mehr als einem Prozent der Ackerfläche betrieben und geht einen Schritt weiter, indem der Boden überhaupt nicht bearbeitet und die Kultur direkt eingesät wird. Dies erfordert Anpassungen in der Betriebsführung sowie spezielle Maschinen, bringt jedoch einige Vorteile, wie eine bessere Befahrbarkeit bei feuchten Bedingungen, weniger Störung der Bodenstruktur und des Bodenlebens sowie eine reduzierte Arbeitsintensität und reduzierte Emissionen.



Die **Konservierende Landwirtschaft bzw. Conservation Agriculture (CA)** geht über die bloße Direktsaat hinaus, indem sie einen ganzheitlichen Ansatz zur Bewirtschaftung von Agrarökosystemen darstellt, mit dem Ziel einer verbesserten und nachhaltigen Produktivität, höherer Gewinne und mehr Ernährungssicherheit bei gleichzeitiger Erhaltung und Verbesserung der Ressourcenbasis und Umwelt. Schätzungen zufolge wird das vollständige CA-System derzeit auf einem Prozent der Ackerfläche praktiziert. Daten zur Anzahl der Betriebe, die CA anwenden, sind begrenzt. Der Begriff Conservation Agriculture ist durch die Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) definiert und zeichnet sich durch die praktische Anwendung von drei miteinander verbundenen Grundsätzen aus:

1. Minimale Bodenstörung

Direktsaat und der Verzicht auf Bodenbearbeitung reduzieren Erosion, fördern mikrobiologische Prozesse, stabilisieren die Bodenstruktur und verbessern langfristig die Bodengesundheit.

2. Dauerhafte Bodenbedeckung

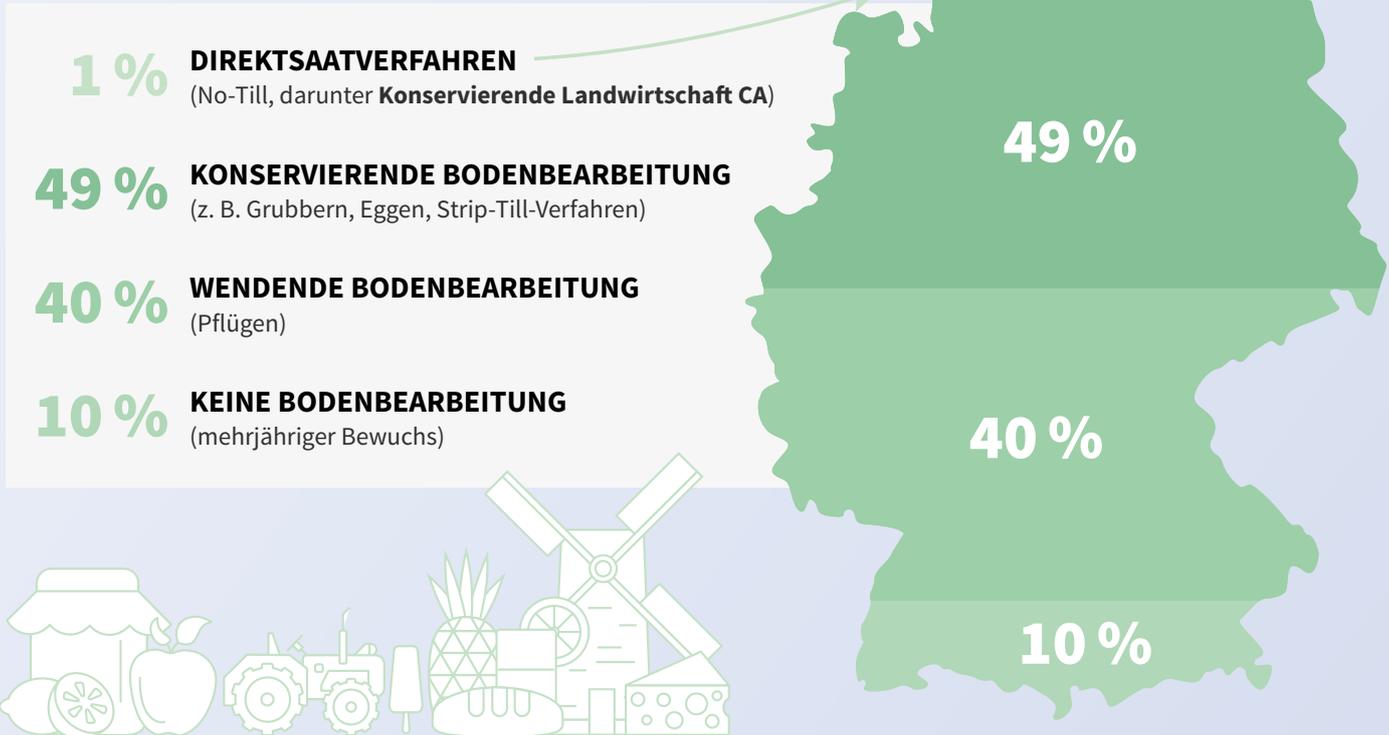
Eine dauerhafte Bodenbedeckung – idealerweise durch einen lebenden Pflanzenbestand – reduziert Erosion, kühlt, fördert Mikroorganismen, stabilisiert den Boden und verbessert das Nährstoff- sowie Schädlingsmanagement.

3. Diversifizierung der Pflanzenarten

Vielfältige Fruchtfolgen und Mischkulturen stärken das Bodenmikrobiom, optimieren die Nährstoffversorgung und unterdrücken Schädlinge. Sie fördern mikrobielle Aktivität, bauen organische Substanz auf und erhöhen die Resilienz des Systems.



BODENBEARBEITUNG AUF ACKERLAND IN DEUTSCHLAND 2022/2023



Quelle: Statistisches Bundesamt © 2024 BLE

Regenerative Landwirtschaft (RA) ist ein adaptives Anbausystem, das vor allem in der konventionellen Landwirtschaft zunehmend an Bedeutung gewinnt. Obwohl sie gemeinsame Prinzipien mit der Konservierenden Landwirtschaft verfolgt, unterscheiden sich beide in ihrer Zielsetzung und in der Bandbreite der angewandten Praktiken.

Während RA über ihr Ziel definiert wird, die Wiederherstellung und langfristige Verbesserung von Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung, beschreibt CA primär die Methoden, mit denen dieses Ziel erreicht werden kann. CA basiert auf drei Grundprinzipien: (1) minimale Bodenbearbeitung, (2) dauerhafte Bodenbedeckung und (3) erhöhte Pflanzendiversität. Diese drei "Grundprinzipien" sind auch Teil der Regenerativen Landwirtschaft, die jedoch weiter gefasst ist und zusätzliche ökologische und betriebliche Aspekte integriert, wie zum Beispiel die sinnvolle Integration der Tierhaltung. Essenziell ist das Zusammenspiel der gleichzeitigen Umsetzungen aller Prinzipien zur Ausnutzung synergetischer Effekte in der CA und RA.

Exkurs: Konservierende Landwirtschaft und Ökolandbau – Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Der **Ökolandbau** ist ein gesetzlich definierter Anbaustandard, der insbesondere auf chemisch-synthetische Betriebsmittel verzichtet. Er umfasst sowohl den Pflanzenbau als auch die Tierhaltung, die an hohe Tierwohlstandards gebunden ist und

auf eine enge Verzahnung mit der Fläche setzt. Die Kriterien des Ökolandbaus erlauben Ansätze der Konservierenden Landwirtschaft (CA), schreiben diese aber nicht vor.

CA kann so eine Weiterentwicklung von konventionellen wie auch Ökolandbau-Anbausystemen sein, die durch den Fokus auf Bodenruhe und reduzierte Eingriffe den Boden langfristig schonen und ihn mit Pflanzenvielfalt regeneriert.

Generell gibt es wichtige Überschneidungen zwischen Ökolandbau und CA, insbesondere bei weiten Fruchtfolgen und artenreichen Zwischenfrüchten, die in allen Ansätzen als Kernelemente zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität gelten. Die mechanische Bodenbearbeitung im Ökolandbau, die oft wegen des Verzichts auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel zur Unkrautkontrolle erforderlich ist, steht dabei in einem Gegensatz zur minimalen Bodenstörung in der Konservierenden Landwirtschaft und ist eine zentrale Herausforderung für die Integration von CA im Ökolandbau. Es gibt allerdings auch in Deutschland schon heute Öko-Betriebe, die diese Verbindung erfolgreich umsetzen und Innovationen, wie Biopestizide oder alternative Methoden der Unkrautregulierung, die die Übertragung von CA-Prinzipien auf den Ökolandbau erleichtern.



5. Auswahl der Betriebe und Datenerhebung

Diese Studie stützt sich auf eine Gruppe von 17 Beispielbetrieben, die das System der Konservierenden Landwirtschaft (CA) vollständig anwenden. Wissenschaftlich begleitet wird die Studie durch eine fachliche Auswertung der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT).

Um den Wandel und die Effekte der Methode der Konservierenden Landwirtschaft fundiert zu analysieren, wurden gezielt Betriebe ausgewählt, die seit mindestens 2019 – das heißt seit mindestens drei ganzen Erntejahren – auf CA umgestellt haben. Dies ermöglicht es, nicht nur kurzfristige Effekte, sondern auch die mittelfristige Entwicklung zu erfassen. Da der Einsatz von Betriebsmitteln, wie Pflanzenschutzmitteln und Düngern, stark von den Witterungsbedingungen abhängt, wurden die Erntejahre 2020, 2021 und 2022 als Untersuchungszeitraum gewählt. Für jedes Jahr wurden Daten von drei Schlägen pro Betrieb erhoben, um Schwankungen von Witterungseinflüssen auszugleichen und verlässliche Ergebnisse zu erzielen.

Die Analyse konzentrierte sich bewusst auf Hauptanbaukulturen der ackerbaulichen Praxis: Winterweizen, Winterraps, Mais und Wintergerste. Diese Auswahl stellt sicher, dass die

Ergebnisse auf eine breite Basis übertragbar sind und den Herausforderungen in der Praxis gerecht werden. Spezialisierte Kulturen wurden ausgeschlossen, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Bezüglich der ausgewählten Kulturen wurden die wichtigsten Betriebsparameter Pflanzenschutzmittel, Stickstoffdüngung, Treibstoff, Bodengesundheit sowie der Ertrag analysiert und in der Folge ausgewertet.

Um regionale Unterschiede und agronomische Vielfalt zu berücksichtigen und die Ergebnisse vergleichen zu können, wurden die Betriebe nach ihrer geografischen Lage, den Boden sowie den Klimabeschaftenheiten geclustert sowie regional spezifische Vergleichsdaten einer landwirtschaftlichen Betriebsberatung herangezogen. Hierzu befinden sich genauere Informationen im Anhang.

ÜBERSICHTSKARTE DER TEILNEHMENDEN BETRIEBE

Unterteilung entsprechend den
bodenklimatischen Bedingungen



HOCHERTRAGSSTANDORTE I

Hohe Ackerzahlen, viel Niederschlag,
hohes Ertragspotential



HOCHERTRAGSSTANDORTE II

Schwerer Boden, viel Niederschlag



SANDIGER, TROCKENER BODEN

Niedrige Ackerzahlen, geringes Ertragspotential



LEHMIGER ODER SANDIGER BODEN

Ausreichender Niederschlag



Exkurs: Risiko bzw. Toxizität von Pflanzenschutzmitteln

Pflanzenschutz gehört zu den zentralen Herausforderungen der konventionellen Landwirtschaft. Die in Kapitel 1 verwendete Abbildung 1 zeigt, dass der Pflanzenschutzmittelabsatz in Deutschland seit dem Jahr 2000 unverändert auf hohem Niveau von über 30.000 t pro Jahr Absatzmenge verbleibt. Die Art und Weise, wie Pflanzenschutz betrieben wird, unterscheidet sich jedoch stark zwischen der konventionellen Landwirtschaft und der Konservierenden Landwirtschaft.

Pflanzenschutzmittel werden in unterschiedliche Kategorien unterteilt und erfüllen jeweils spezifische Funktionen:

- **Herbizide:** Unkrautbekämpfung vor und nach der Aussaat, um den Konkurrenzdruck auf Kulturen zu reduzieren.
- **Insektizide:** Schutz vor Schadinsekten wie Blattläusen oder Getreidebohrern.
- **Fungizide:** Vorbeugung oder Bekämpfung von Pilzkrankheiten, wie Mehltau und Rostpilzen.
- **Wachstumsregler:** Steuerung des Pflanzenwachstums, etwa durch Verkürzung der Stängel für mehr Standfestigkeit.

Bewertung des Risikos eingesetzter Pflanzenschutzmittel

Aktuell existieren viele verschiedene Indikatoren und Ansätze zur Messbarmachung des Risikos bzw. der Toxizität von Pflan-

zenschutzmitteln. Die gängigen Indikatoren für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, wie z. B. der Behandlungsindex (BI), liefern zwar Informationen über Menge und Intensität der Anwendung, sind jedoch ungeeignet, um die Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen zu bewerten. Sie berücksichtigen weder die spezifische Toxizität, noch das Risiko einzelner Wirkstoffe, wodurch eine umfassende Einschätzung der potenziellen Auswirkungen fehlt.

Weitere übliche Indikatoren:

- Der Harmonised Risk Indicator (HRI) dient zur Berichterstattung der einzelnen Mitgliedsländer auf europäischer Ebene.
- Der SYNOPS-Indikator, wie auch der Behandlungsindex, werden als Bewertungsmaßstäbe im deutschen Nationalen Aktionsplan Pflanzenschutz (NAP) genutzt.
- Der in Dänemark mehrjährig erprobte und als Grundlage für die Besteuerung eingesetzte Pesticide Load Indicator (PLI) sticht durch seine vergleichsweise simple Anwendbarkeit heraus.

In dieser Studie wurde sich für den PLI entschieden. Der Pesticide Load Indicator (PLI) dient seit 2013 als Grundlage für die Besteuerung von Pflanzenschutzmitteln in Dänemark und basiert auf einer potenziellen Risikobewertung. Aufgrund dieser fundierten Basis gilt er als rechtssicher und ist umfassend

erprobt¹¹. Der PLI stellt damit den ersten Risikoindikator in Europa dar, der sowohl die Gesundheits- und Umweltrisiken von Pflanzenschutzmitteln bewertet, als auch deren Besteuerung ermöglicht¹². Der PLI setzt sich aus drei gleich gewichteten Teilindikatoren zusammen: Umweltverhalten, Ökotoxizität und Risiko für die menschliche Gesundheit¹³.

Die Bewertung der Wirkstoffe oder Produkte in den einzelnen Unterkategorien erfolgt im Rahmen des PLI im Vergleich zu dem zugelassenen Wirkstoff mit den ungünstigsten Eigenschaften. Der Maximalwert, auch als Referenzwert bezeichnet, stammt aus dem Jahr 2007 und wird als „Worst-Case“ interpretiert. Das Verhältnis zwischen dem aktiven Wirkstoff und dem Referenzwert liegt daher stets zwischen 0 und 1. Hat ein Wirkstoff nur halb so viel Toxizität wie der Referenzwirkstoff, so wird auch sein Pesticide Load bzw. die Toxizität um 50 Prozent reduziert. Da der Referenzwirkstoff unverändert bleibt, auch wenn er möglicherweise verboten wird oder nicht erneut zugelassen wird, bleibt die Vergleichbarkeit erhalten, was eine langfristige Überwachung der Risikoentwicklung ermöglicht¹⁴. Es ist entscheidend, diese Werte im Verhältnis zueinander zu betrachten. Ein einzelner Wert allein gibt keine endgültige Aussage über die Gefährlichkeit eines Pflanzenschutzmittels. Vielmehr muss er im Kontext der spezifischen Anwendungsbedingungen und der lokalen Umweltsensitivität interpretiert werden¹⁵. Das Julius Kühn-Institut (JKI) hat die Toxizitäten des PLI für eine aussagekräftige Übertragbarkeit auf Deutschland entsprechend angepasst, da der dänische Indikator aufgrund des starken Fokus auf Bienenverträglichkeit Insektizide wesentlich stärker gewichtet. Diese angepassten PLI-Werte überschreiten nun den Bereich von 0 bis 1, aber die Vergleichbarkeit der Daten bleibt erhalten. Anschließend wurden die Toxizitätswerte mit der Aufwandmenge multipliziert, um die insgesamt ausgebrachte Gesamttoxizität zu berechnen.



6 Einfluss der Konservierenden Landwirtschaft auf den Betriebsmitteleinsatz

Die Abbildung der folgenden Seite zeigt die Reduktion der Toxizität durch Pflanzenschutzmittel in der Konservierenden Landwirtschaft (CA) im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft in vier Kulturen: Winterweizen (WW), Winterraps (WRA), Mais und Wintergerste (WG). Dabei wird die Toxizität anhand des Pesticide Load Indicators (PLI) gemessen, der die jeweilige Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch den Pflanzenschutzmitteleinsatz quantifiziert.

Das aus dem Pflanzenschutzmitteleinsatz resultierende Risiko in den verschiedenen Kulturen ist dabei unterschiedlich ausgeprägt. Während Mais typischerweise einen geringeren Pflanzenschutzmittelbedarf aufweist, zeigen Winterweizen, Winterraps und Wintergerste eine deutlich höhere Toxizität. Diese Unterschiede resultieren aus den spezifischen Anbaubedingungen und Herausforderungen jeder Kultur. Winterraps beispielsweise ist aufgrund seines hohen Schädlingsdrucks besonders auf den Einsatz von Insektiziden angewiesen. Ebenso werden in Winterweizen häufig Wachstumsregler und Fungizide wegen seiner Anfälligkeit für Krankheiten eingesetzt, um Erträge zu maximieren und Krankheiten vorzubeugen.

Für diese Studie wurden zusätzlich extensive Applikationsmuster erstellt, um Betriebe abzubilden, die weniger intensive Bewirtschaftung betreiben. Die Muster wurden durch ein landwirtschaftliches Beratungsunternehmen bereitgestellt und basieren ebenfalls auf durchschnittlichen Behandlungsmustern für die vier Regionen und Fruchtarten. Die Analyse zeigte, dass die extensiven Applikationsmuster im Vergleich nur geringfügig weniger toxisch waren, da bei ihnen die Wachstumsregler- und Fungizidapplikationen im April und Mai wegfallen.

6.1 Verbrauch von Pflanzenschutzmitteln im Vergleich

Die Analyse verdeutlicht eine signifikante Einsparung an Pflanzenschutzmitteln insgesamt. Die Toxizität konnte in den untersuchten Betrieben um bis zu 71 Prozent gesenkt werden. Im Durchschnitt aller Kulturen konnte die Toxizität um bis zu 52 Prozent gesenkt werden im Vergleich zu den konventionellen Applikationsmustern.

Ein besonders auffälliges Ergebnis der Analyse ist die signifikante Reduzierung der Herbizidtoxizität in den untersuchten Kulturen, insbesondere in Winterweizen, Winterraps und

REDUKTION DER TOXIZITÄT DURCH KONSERVIERENDE LANDWIRTSCHAFT

Vergleich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes zwischen Konservierender Landwirtschaft und konventioneller Landwirtschaft in verschiedenen Kulturen

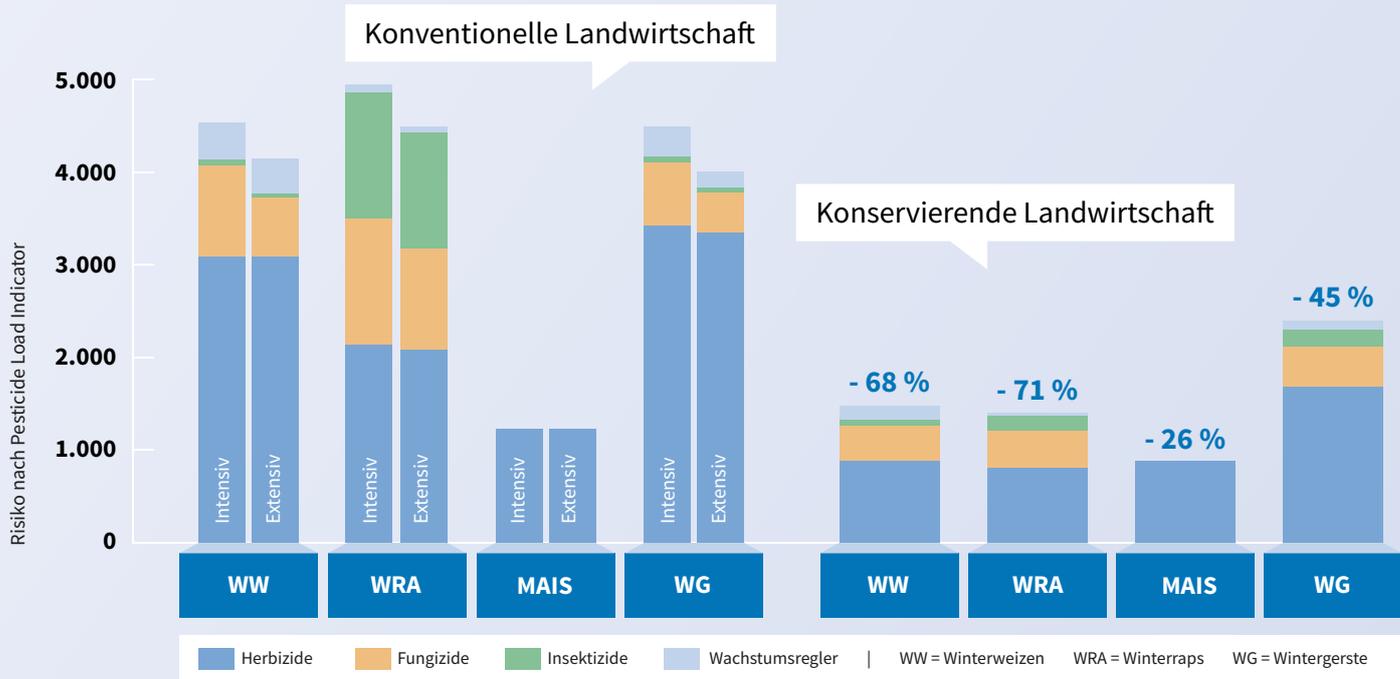


Abbildung 4: Vergleich des Risikos bzw. der Toxizität der eingesetzten Pflanzenschutzmittel in den jeweiligen Kulturen zwischen konventioneller und konservierender Landwirtschaft

Wintergerste. Oft wird angenommen, dass Direktsaatssysteme notwendigerweise große Mengen von Herbiziden anwenden, um stabile Erträge zu erzielen und eine effektive Unkrautbekämpfung durchzuführen. Unsere Studie zeigt: Die vollumfängliche Umsetzung von CA-Systemen reduziert die ausgebrachte Herbizidtoxizität um über 50 Prozent in Konservierender Landwirtschaft.

Die Ergebnisse zeigen zudem eine deutliche Reduktion des Fungizid- und Insektizideinsatzes in Konservierender Landwirtschaft. Die Fungizidtoxizität konnte in Winterweizen um 62 Prozent, in Winterraps um 72 Prozent und in Wintergerste um 39 Prozent gesenkt werden. In Mais wurden keine Fungizide eingesetzt, weshalb hier keine Reduktion stattfand. Der Einsatz von Insektiziden zeigt ein ähnliches Bild. In Winterraps konnte eine deutliche Reduktion um über 80 Prozent beobachtet werden.

Die Analyse zeigt drei zentrale Beobachtungen hinsichtlich der Reduktion der Pflanzenschutzmitteltoxizität in Konservierender Landwirtschaft: Wirkstoffsubstitution, seltenere Anwendungen sowie geringere ausgebrachte Mengen. In den untersuchten Betrieben wurden teilweise weniger toxische Wirkstoffe eingesetzt, die Anzahl der Applikationen pro Kulturjahr war insgesamt niedriger und die ausgebrachten Mengen wurden deutlich reduziert. Diese Reduktionen sind besonders ausgeprägt in Kulturen mit hohem Pflanzenschutz-

mittelbedarf, wie Winterweizen, Winterraps und Wintergerste, während sie in Mais weniger stark ausfallen.

6.2 Stickstoffeinsatz in Konservierender Landwirtschaft

Die Analyse zeigt eine deutliche Reduktion des Stickstoffverbrauchs in der Konservierenden Landwirtschaft im Vergleich zur konventionellen Variante. Über alle Kulturen hinweg beträgt die Gesamtreduktion des Stickstoffeinsatzes 15,2 Prozent. Besonders signifikante Einsparungen wurden für Winterweizen mit 23,3 Prozent, Wintergerste mit 16,4 Prozent und Winterraps mit 9,1 Prozent verzeichnet. In Mais variierte die Reduktion stark je nach Region, mit einer Gesamtreduktion von 6,7 Prozent, wobei in einigen Regionen, wie Süden und Osten bis zu 20,2 Prozent eingespart wurden.

6.3 Treibstoffverbrauch

Der Treibstoffverbrauch der verschiedenen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungssysteme wurde mittels des KTBL-Rechners analysiert und zeigt deutliche Unterschiede. Dies sind vor allem auf die Intensität der Bodenbearbeitung und die Anzahl der notwendigen Überfahrten zurückzuführen und machen einen wichtigen Teil in der Emissionsbilanz aus. Weitere Informationen zu den genauen Annahmen sind im Anhang zu finden.

STICKSTOFFEINSATZ IN KONSERVIERENDER LANDWIRTSCHAFT

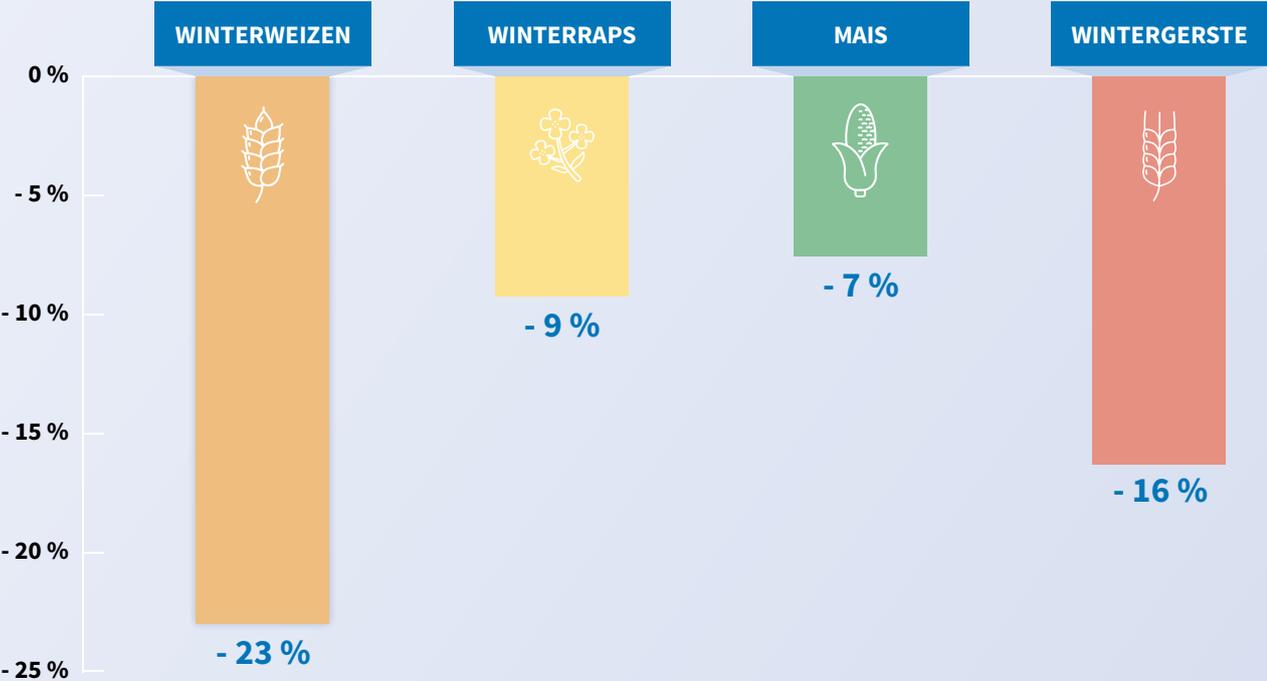


Abbildung 5: Stickstoffeinsatz in Konservierender Landwirtschaft verglichen mit konventionellen Vergleichsbetrieben



Management	Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)	Dieselbedarf (l/ha)
Pflugvariante	3,28	64,26
Mulchsaat	3,06	56,31
Direktsaat (CA)	1,33	16,21
Reduktion Pflug --> Direktsaat (CA)	59,45 %	74,77 Prozent
Reduktion Mulchsaat --> Direktsaat (CA)	56,54 Prozent	71,21 Prozent

Tabelle 1: Arbeitszeit- und Dieselbedarf verschiedenem Bodenmanagements, Auswertung mittels Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)

Im konventionellen Pflugsystem liegt der Dieserverbrauch mit 64,26 Litern pro Hektar am höchsten. Dieser hohe Verbrauch resultiert aus mehreren Arbeitsschritten, wie Pflügen, Grubbern, Eggen und der Aussaat mit Kreiselegge und Sämaschine, die jeweils zusätzliche Überfahrten erfordern. Mulchsaat reduziert den Treibstoffverbrauch auf 56,31 Liter pro Hektar, indem auf das Pflügen verzichtet und stattdessen ein Tiefgrubber eingesetzt wird. Die Anzahl der Arbeitsschritte und Überfahrten bleibt jedoch weitgehend unverändert, wodurch die Einsparungen im Vergleich zum Pflugsystem moderat ausfallen. Die Direktsaat weist mit nur rund 16 Litern Diesel pro Hektar den geringsten Verbrauch auf. Dieses System verzichtet nahezu vollständig auf Bodenbearbeitung, da die Aussaat direkt in den ungestörten Boden erfolgt. Neben der Direktsaat ist nur eine zusätzliche Überfahrt mit einer Pflanzenschutzspritze erforderlich, was die Gesamtanzahl der Überfahrten deutlich reduziert. Die Einsparungen beim Treibstoffverbrauch betragen 74 Prozent bei der Umstellung von Pflugsystemen auf Direktsaat und 71 Prozent von Mulchsaat auf Direktsaat.



7 ● Bodenbiodiversität und -gesundheit



Die Bodenqualität ist ein zentraler Indikator für die langfristige Produktivität und Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Um die Auswirkungen auf die Bodenbiologie besser zu erfassen, wurde ein Indikator verwendet, der speziell biologische Parameter des Bodens bewertet und so ein ganzheitlicheres Bild der Bodengesundheit ermöglicht.

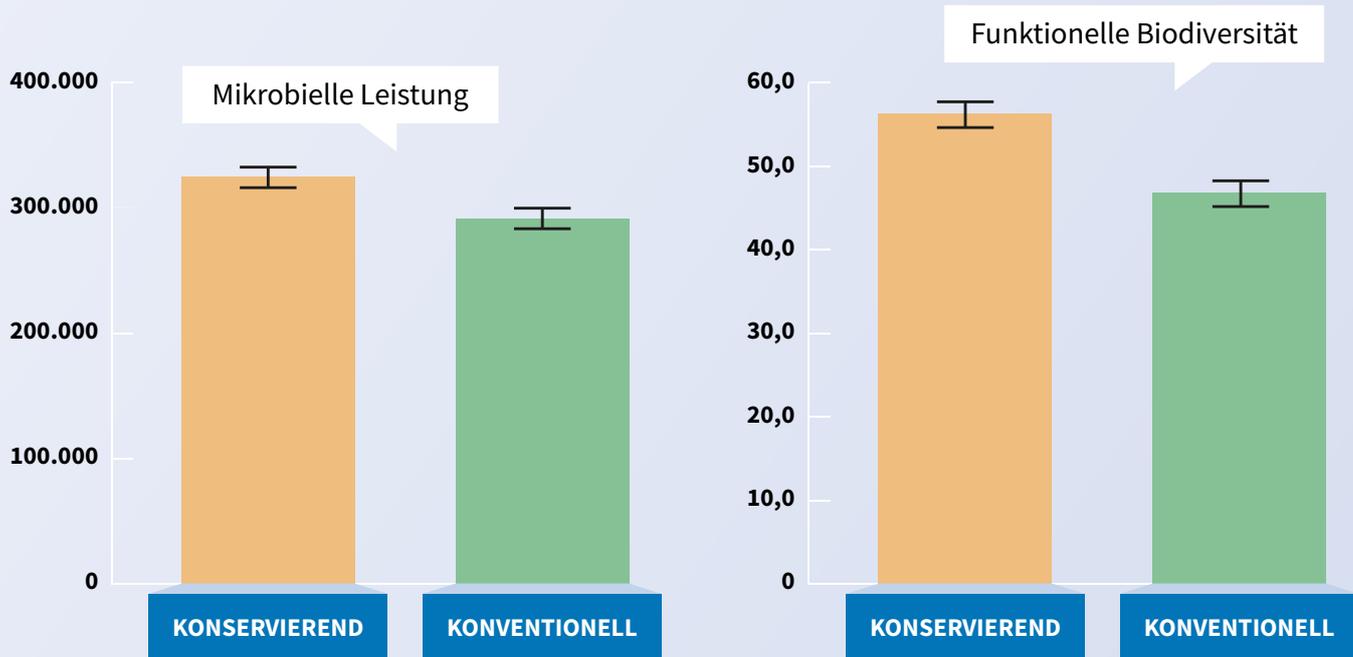
Der BIOTREX Soil Health Test ist eine Methode zur Bewertung der biologischen Eigenschaften von Böden, die speziell für die praktische Anwendung in der Landwirtschaft entwickelt wurde. Dieser Test ermöglicht es Landwirt*innen und Berater*innen, die Aktivität und Vielfalt der im Boden lebenden Mikroorganismen zu quantifizieren, welche entscheidend für Nährstoffkreisläufe, Krankheitsunterdrückung und die Verbesserung der Bodenstruktur sind.

Der verwendete Index durch BIOTREX zur mikrobiellen Leistung (Abb. 6 links) fasst verschiedene Aspekte mikrobieller Aktivität in einem einzigen, leicht interpretierbaren Wert zusammen. Er ermöglicht den Vergleich von Böden unterschiedlicher Standorte und Bodenarten und liefert eine solide Grundlage zur Bewertung von Bodenfunktionalität und -biodiversität. Weitere Informationen zur Methode finden sich im Anhang.

Die Ergebnisse zeigen, dass die mikrobielle Leistung in den untersuchten Böden unter Konservierender Landwirtschaft signifikant höher war (331.052 ± 8.896) als in den beprobten konventionell bewirtschafteten Böden im unmittelbaren Umfeld zu den Testbetrieben. Dieser Unterschied ist statistisch hoch signifikant.

VERBESSERTE BODENGESUNDHEIT DURCH KONSERVIERENDE LANDWIRTSCHAFT

Vergleich der mikrobiellen Leistung und funktionalen Biodiversität zwischen Konservierender Landwirtschaft und konventioneller Landwirtschaft





Die funktionale Biodiversität (Abb. 6 rechts) misst die Vielfalt der ökologischen Funktionen des Bodenmikrobioms und legt den Fokus auf funktionale anstelle von taxonomischer Diversität. Auch hier zeigen die im Rahmen der Studie analysierten Böden der Beispielbetriebe mit einer durchschnittlichen funktionalen Biodiversität von $56,1 \pm 2,30$ deutlich bessere Werte als herkömmlich bewirtschaftete Böden ($45,9 \pm 2,75$) in der direkten Nachbarschaft. Dieser Unterschied ist ebenfalls statistisch signifikant.

Bei den Bodenproben wurden darüber hinaus eigene optische Regenwurmzählungen durch eine Spatenprobe durchgeführt, um die biologische Aktivität der Böden zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass die CA-Flächen im Durchschnitt bis zu 3,8-mal mehr Regenwürmer aufwiesen als die konventionell bewirtschafteten Flächen. Weitere Informationen zur Probenahme befinden sich im Anhang.



Die erhöhte funktionale Biodiversität in CA-Böden zeigt, dass Praktiken wie minimaler Bodeneingriff, dauerhafte Bodenbedeckung und maximierter Pflanzendiversität nicht nur die mikrobiellen Gemeinschaften fördern, sondern auch die biologische Vielfalt verbessern. Böden mit höherer funktionaler Biodiversität sind besser in der Lage, zentrale Funktionen wie Nährstoffkreisläufe, Krankheitsunterdrückung und Kohlenstoffspeicherung zu erfüllen. Im Gegensatz dazu weist die geringere funktionale Biodiversität in konventionellen Böden darauf hin, dass diese Bewirtschaftungsform die Entwicklung und Diversität funktionaler mikrobieller Gruppen weniger unterstützt.



8 Erträge unter Konservieren- der Landwirtschaft

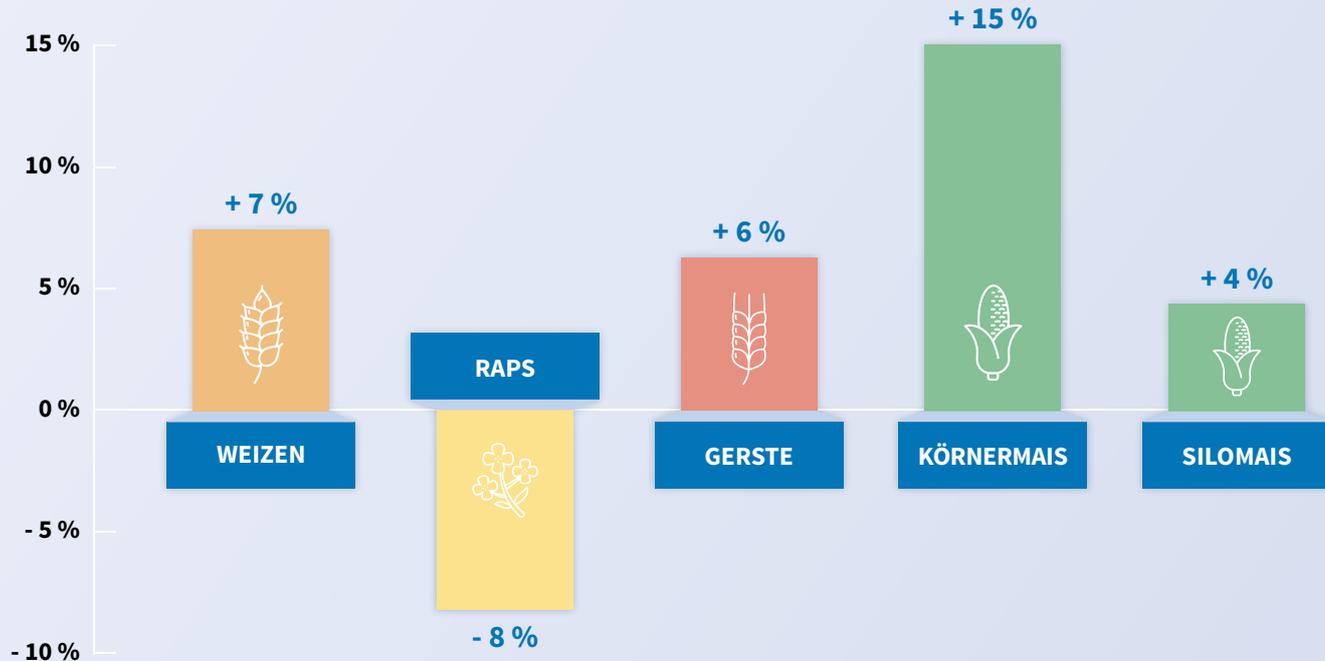


Als letztes wurden die Auswirkungen der Konservierenden Landwirtschaft auf die Erträge verschiedener Kulturen im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung analysiert. Es zeigten sich deutliche Unterschiede, die sowohl positive als auch, in spezifischen Fällen, negative Auswirkungen hat.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Erträge in CA-Systemen in der Regel stabiler und in vielen Fällen sogar höher sind als in konventionellen Bewirtschaftungssystemen. Besonders auffällig ist, dass CA-Flächen in Jahren mit extremen Wetterbedingungen, wie anhaltenden Trockenperioden, eine bessere Ertragsleistung aufweisen. Kulturen wie Winterweizen und Mais zeigten eine deutliche Ertragssteigerung. Die Ertragswirkungen sind jedoch stark von der Region und der jeweiligen Kultur abhängig. So schnitt beispielsweise Winterraps in CA-Systemen teilweise schlechter ab, was mit spezifischen Schädlings- und Krankheitsproblemen in Verbindung gebracht wird. Die teilnehmenden Landwirte der untersuchten Betriebe hatten nach eigenen Aussagen einige Ertragseinbußen im Winterraps infolge höheren Schädlingsdrucks durch Rapsglanzkäfer, die zu einer durchschnittlichen Ertragsreduktion von rund acht Prozent beitrugen. Andererseits fielen die Erträge der Wintergerste, des Winterweizens und vor allem beim Mais besser aus.

Während die konventionelle Landwirtschaft in extremen Wetterjahren oft mit deutlichen Ertragseinbußen konfrontiert wird, bleiben die Erträge in CA-Systemen vergleichsweise konstant.

RELATIVE ERTRAGSÄNDERUNG UNTER KONSERVIERENDER LANDWIRTSCHAFT



9. Ökonomische Auswertung

9.1 Auswirkungen der Umstellung auf Konservierende Landwirtschaft auf den Einsatz von Betriebsmitteln sowie den Ertrag

Die Umstellung von konventioneller Landwirtschaft auf Konservierende Landwirtschaft (CA) ist ein komplexer und hoch kontextspezifischer Prozess, der sowohl Herausforderungen als auch immense Chancen birgt. Dieser Transitionspfad, also der Übergang von intensiven, betriebsmittellastigen Bewirtschaftungsformen hin zu ressourcenschonenden und nachhaltigeren Praktiken, erfordert eine sorgfältige Planung und eine schrittweise Anpassung der Bewirtschaftungsmethoden sowie der Betriebsstrukturen. Während sich die Vorteile von CA langfristig in Form von stabileren Erträgen, erhöhter Bodenfruchtbarkeit und reduzierten Betriebskosten zeigen, ist die Übergangszeit häufig von Unsicherheiten geprägt – etwa hinsichtlich möglicher Ertragsverluste.

Die folgende Grafik illustriert die in der Analyse hervorgetretenen Veränderungen, die während dieses Übergangs zur vollumfänglichen Umsetzung von Konservierender Landwirtschaft stattfinden, und zeigt auf, wie sich der Einsatz von Betriebsmitteln, wie Treibstoff, Stickstoff, Herbiziden, Fungiziden und In-

sektiziden, im Vergleich zu den Erträgen entwickelt. Basierend auf Experteninterviews mit den teilnehmenden Landwirten der Studie verdeutlicht sie, wie schnell verschiedene Inputs reduziert werden können und wie sich die Erträge über die Zeit stabilisieren und sogar verbessern können. Dieses Beispiel des Transitionspfads bietet wertvolle Einblicke in die Dynamik der Umstellung.

Direkt nach der Umstellung kann der Ertrag leicht sinken, was unter anderem auch daran liegt, dass in dem neuen ackerbaulichen System erst Erfahrungen gesammelt werden müssen. Ab dem dritten Jahr ist ein leichter Anstieg der Erträge auf 105 Prozent erkennbar, der auf die zunehmende Bodenfruchtbarkeit infolge des ungestörten Bodens und die Etablierung eines stabilen Bodenökosystems zurückzuführen ist.

Der Treibstoffverbrauch sinkt infolge der Einführung der Direktsaat und der damit verbundenen minimalen Bodenbearbeitung unmittelbar nach der Umstellung drastisch. Bereits frühzeitig nach der Umstellung sind nur noch rund 30 Prozent des ursprünglichen Treibstoffverbrauchs festzustellen. Die entsprechend notwendigen Arbeitsstunden sinken ebenfalls.

BETRIEBSMITTELEINSATZ & ERTRAGSENTWICKLUNG IN KONSERVIERENDER LANDWIRTSCHAFT NACH UMSTELLUNG

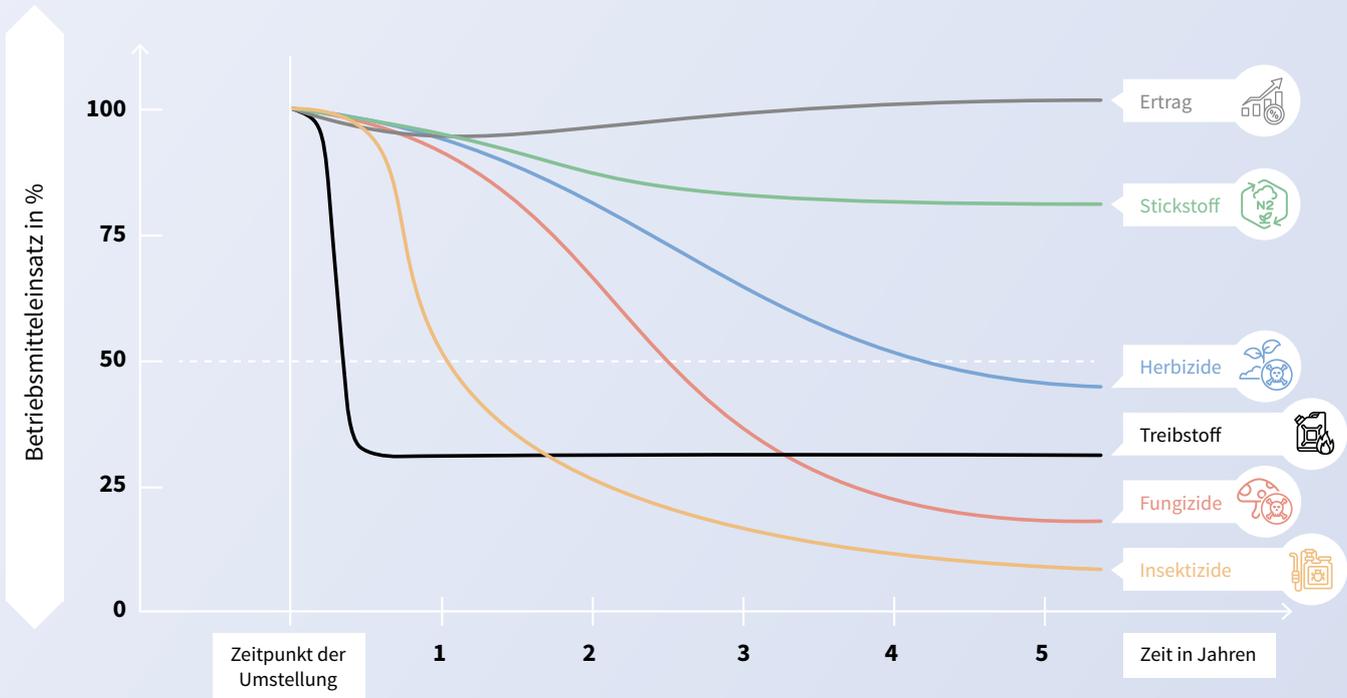


Abbildung 8: Betriebsmitteleinsatz & Ertragsentwicklung in konservierender Landwirtschaft nach Umstellung

Auch der Einsatz von Insektiziden nimmt schnell deutlich ab. Bereits im ersten Jahr nach der Umstellung war nur noch die Hälfte der ursprünglich eingesetzten Insektizidmenge zu verzeichnen, im zweiten Jahr lediglich 25 Prozent. Nach etwa fünf Jahren konnte auf Insektizide nahezu verzichtet werden.

Der Fungizideinsatz zeigt zudem einen zwar langsameren, aber stetigen Rückgang, da die Bodengesundheit verbessert wird und dadurch natürliche Mechanismen zur Unterdrückung von Pflanzenkrankheiten greifen.

Der Einsatz von Herbiziden, die oft eine zentrale Rolle in der Unkrautkontrolle spielen, sinkt ebenfalls nach der Umstellung. Der Stickstoffverbrauch bleibt im ersten Jahr stabil, bevor er in den darauffolgenden Jahren ebenfalls zu sinken beginnt. Schließlich ist nach fünf Jahren ein deutlich reduzierter Betriebsmittelverbrauch in allen Kategorien zu beobachten. Die Erträge bleiben stabil und steigen langfristig sogar leicht an, während der Betriebsmittelverbrauch signifikant reduziert wird.

Wichtig ist anzumerken, dass die hier auf Basis von Experteninterviews dargestellten Betriebsmitteleinsätze und deren Reduktionen nach fünf Jahren nach der vollumfänglichen Umstellung auf Konservierende Landwirtschaft noch keine stabilen Gleichgewichte darstellen. Die Betriebsmittelreduktion kann sich selbstverständlich über den Zeitraum von fünf Jahren hinaus fortsetzen. Die Auswertung legt nahe: Je länger

die untersuchten Beispielbetriebe Konservierende Landwirtschaft umsetzten, desto weniger fossile Betriebsmittel mussten eingesetzt werden.

Eine kontextspezifische Übergangszeit zur vollumfänglichen Umsetzung Konservierender Landwirtschaft erfordert jedoch eine sorgfältige Planung und gezielte Anpassungen, insbesondere in der Anfangsphase.

9.2 Berechnung des Deckungsbeitrags: Vergleich zwischen konventioneller Landwirtschaft und Konservierender Landwirtschaft (CA)

Um die ökonomischen Effekte nach der Umstellungsphase auf Konservierende Landwirtschaft zu verdeutlichen, wurden Szenarien für die Deckungsbeitragsrechnung erstellt. Diese basieren auf einem Fallbeispiel aus Betrieben der Region Ost (Szenario: Betrieb wirtschaftet seit über zehn Jahren im CA-System), die repräsentativ für die Bedingungen in dieser Region stehen. Es werden sowohl die konventionelle Landwirtschaft als auch zwei Varianten von CA betrachtet – ein Betrieb mit gleichem Ertrag und einer mit einem um fünf Prozent gesteigerten Ertrag. Dabei flossen Annahmen zu Betriebsmittelkosten, Ertragswerten und spezifischen Einsparungen in die Analyse ein.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Konservierende Landwirtschaft durch reduzierte Betriebsmittel und effizientere Produktions-

methoden deutliche Vorteile in der Wirtschaftlichkeit bietet. Selbst bei gleichem Ertrag ermöglicht die Einsparung von Treibstoff, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln einen höheren Deckungsbeitrag. Wird der Ertrag um fünf Prozent gesteigert, wie es langfristig durch verbesserte Bodenfruchtbarkeit und Resilienz oft der Fall ist, erhöht sich der Deckungsbeitrag signifikant.

Weitere übliche Indikatoren:

Parameter	Konventionelle Landwirtschaft	CA (gleicher Ertrag)	CA (+ 5 % Ertrag)
Ertrag (t/ha)	8	8	8,4
Winterweizenpreis (€/t)	234,25	234,25	234,25
Erlös (€/ha)	1.639,75	1.639,75	1.721,74
N-Düngerkosten (€/ha)	192	138	138
PSM-Kosten (€/ha)	126	60	60
Zwischenfrüchte (€/ha)	-	110	110
Dieselskosten (€/ha)	112	42	42
Personalkosten (€/ha)	55	32	32
Summe: Variable Kosten (€/ha)	485	382	382
Deckungsbeitrag (€/ha)	1.154,75	1.257,75	1.339,74
Steigerung (in %)	-	+ 8,9 %	+ 16,02 %

Tabelle 2: Deckungsbeitragsrechnung eines CA-Beispielbetriebs in zwei verschiedenen Szenarien im Vergleich zu einem konventionellen Szenario in der Kultur Winterweizen



Diese Deckungsbeitragsrechnung verdeutlicht die potentiellen ökonomischen Unterschiede zwischen konventioneller Landwirtschaft und zwei Szenarien der Konservierenden Landwirtschaft (CA). Sie zeigt, wie Letztere durch reduzierte Betriebsmittelkosten und potenzielle Ertragssteigerungen wirtschaftliche Vorteile bieten kann.

Im Vergleich liegt der Ertrag im konventionellen System und im ersten CA-Szenario bei 7 t/ha, während im zweiten CA-Szenario eine Ertragssteigerung von fünf Prozent auf 7,35 t/ha angenommen wird. Dadurch erhöht sich der Erlös von 1.639,75 €/ha im konventionellen System und im ersten CA-Szenario auf 1.721,74 €/ha im zweiten Szenario.

Die Betriebsmittelkosten zeigen deutliche Unterschiede: Die Düngerkosten im CA-System sinken durch den effizienteren Einsatz von Stickstoffdüngern um rund ein Viertel (von 192 €/ha im konventionellen System auf 138 €/ha in beiden CA-Szenarien). Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln wird durch nachhaltige Praktiken, wie Fruchtfolgegestaltung und ständige Bodenbedeckung durch vielfältige Zwischenfrüchte mit Leguminosen, erheblich reduziert, wodurch die Kosten von 126 €/ha auf 60 €/ha gesenkt werden. Gleichzeitig entstehen im CA-System zusätzliche Kosten für Zwischenfrüchte (110 €/ha), die langfristig zur Bodengesundheit und Stickstofffixierung beitragen.

Auch bei den Arbeits- und Maschinenkosten bietet das System der Konservierenden Landwirtschaft Einsparpotenziale: Die Dieselskosten sinken durch die Einführung von Direktsaat und reduzierter Bodenbearbeitung von 112 €/ha auf 42 €/ha. Ebenso reduziert sich der Arbeitsaufwand, was die Personalkosten von 55 €/ha im konventionellen System auf 32 €/ha im CA-System verringert.

Diese Einsparungen führen zu deutlich niedrigeren variablen Kosten im CA-System trotz der zusätzlichen Kosten für Zwischenfruchtmischungen (382 €/ha gegenüber 485 €/ha). Dies spiegelt sich in einem höheren Deckungsbeitrag wider: Während dieser im konventionellen System 1.154,75 €/ha beträgt, steigt er im ersten CA-Szenario auf 1.257,75 €/ha (+ 8,92 Prozent) und im zweiten Szenario mit gesteigertem Ertrag auf 1.339,74 €/ha (+ 16,02 Prozent).

Die Einsparungen bei Betriebsmitteln und die Möglichkeit gesteigerter Erträge verdeutlichen, dass Konservierende Landwirtschaft nicht nur ökologische Vorteile, sondern auch ökonomische Anreize bietet – insbesondere in Kombination mit einer verbesserten Ertragsstabilität unter Extremwetterbedingungen wie Trockenheit und Nässephasen.



10. Natürliche Kreisläufe nutzen

Die ökologische Widerstandsfähigkeit landwirtschaftlicher Systeme hängt entscheidend davon ab, wie Agroökosysteme – und vor allem die Böden – bewirtschaftet werden: Je weniger sie gestört werden, je kontinuierlicher sie bedeckt und je vielfältiger sie bepflanzt und durchwurzelt werden, desto gesünder werden sie. Diese Prinzipien greifen ineinander, reduzieren den Einsatz externer Betriebsmittel, fördern die Biodiversität, sorgen für ein verbessertes Wassermanagement und erhalten die Fruchtbarkeit und Produktivität des Agrarökosystems.

10.1 Die drei ineinandergreifenden Prinzipien der Konservierenden Landwirtschaft

Eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung fördert biologische Prozesse, die langfristig die Bodenstruktur stabilisieren und die Resilienz gegenüber Umweltstressoren erhöhen. Regenwürmer, Mikroben und Pilze sorgen für stabile Aggregatbildung, verbessern die Wasserinfiltration und steigern die Nährstoffverfügbarkeit¹⁶. Durch eine reduzierte mechanische Bearbeitung des Bodens bleibt das fein abgestimmte Zusammenspiel zwischen Bodenpartikeln, organischer Substanz und mikrobiellen Gemeinschaften intakt¹⁷. Ein gesunder Boden weist eine ausgeprägte Krümelstruktur auf, die sowohl den Wasser- als auch

den Lufthaushalt reguliert. Durch die Aktivität von Bodenorganismen entstehen stabile Makroporen, die das Wasser tief in den Boden leiten und Staunässe verhindern. Regenwürmer tragen maßgeblich zur Bodenbelüftung und Durchmischung von organischem Material bei, wodurch sich die Abbauprozesse von Pflanzenresten effizienter gestalten. Untersuchungen zeigen, dass minimal bearbeitete Böden langfristig höhere Gehalte an organischer Substanz und besser vernetzte Nährstoffkreisläufe aufweisen¹⁸.

Eine ganzjährige Bodenbedeckung wirkt wie eine natürliche Schutzschicht, die den Boden vor Erosion, Verdunstung und extremer Hitze bewahrt. Studien zeigen, dass eine kontinuierliche Bodenbedeckung die Bodentemperatur im Sommer um bis zu 33° C senken kann und die Erosionsrate um bis zu 90 Prozent reduziert^{19, 20}. Sie stabilisiert nicht nur das Bodenleben, sondern dient auch als wertvolle Quelle für Kohlenstoffeinträge in den Boden, was langfristig zur Anreicherung organischer Substanz beiträgt²¹. Eine hohe organische Substanz verbessert die Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe, was die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegenüber Trockenperioden erhöht²². Mulchauflagen und Wurzelexsudate unterstützen

mikrobielles Leben, was wiederum die Stickstoff- und Phosphorverfügbarkeit verbessert²³. Insbesondere in Regionen mit geringen Niederschlägen wirkt sich eine kontinuierliche Bodenbedeckung positiv auf die Wasserhaltekapazität aus und reduziert den Bewässerungsbedarf erheblich²⁴.

Pflanzenvielfalt ist essenziell für ein widerstandsfähiges Agrarsystem. Im Vergleich zu verengten Fruchtfolgen sind breitere Anbauspektren weniger anfällig für Schädlinge, Krankheiten und Nährstoffverarmung. Untersuchungen zeigen, dass diversifizierte Fruchtfolgen die Erträge steigern und den Bedarf an chemischen Pflanzenschutzmitteln erheblich senken können. Unterschiedliche Pflanzenarten interagieren mit Bodenmikroben, stabilisieren Nährstoffflüsse und reduzieren das Risiko von Krankheiten und Schädlingen²⁵. Besonders Fruchtfolgen mit stickstofffixierenden Leguminosen fördern die Bodenfruchtbarkeit und reduzieren so den Bedarf an synthetischen Düngemitteln²⁶. Eine erhöhte mikrobielle Vielfalt trägt zur Bildung symbiotischer Netzwerke bei, in denen Pflanzen gezielt Nährstoffe austauschen können. Diese Interaktionen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen haben langfristig positive Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit und reduzieren den Nährstoffverlust durch Auswaschung erheblich²⁷. Ein vielfältig genutzter Boden bleibt ökologisch aktiv, fördert die Kohlenstoffspeicherung und passt sich besser an wechselnde Umweltbedingungen an²⁸. Tiefwurzelnde Pflanzen unterstützen den Humusaufbau, fördern die mikrobielle Aktivität und tragen durch eine dauerhaft lebende

Bodenbedeckung sowie artenreiche Zwischenfrüchte zur Kohlenstoffspeicherung bei²⁹. Dadurch verbessert sich auch die Wasseraufnahme.

10.2 Förderung der Biodiversität

Die Reduzierung mechanischer Bodenstörungen und die kontinuierliche Bodenbedeckung durch Mulch oder besser noch einen lebenden Pflanzenbestand bieten Lebensräume für eine Vielzahl von Arten, insbesondere für bodenlebende Organismen, Insekten und kleine Säugetiere. Untersuchungen zeigen, dass CA-Systeme zu einer deutlichen Erhöhung der Bodenbiodiversität führen, da sie förderliche Mikroorganismen, Pilze und Arthropoden begünstigen. Bodenbedeckung durch Zwischenfrüchte und Mulch schafft ein mikroklimatisches Gleichgewicht, das die Anzahl und Vielfalt von Bodenlebewesen unterstützt. Besonders Bestäuber, wie Wildbienen, profitieren von der kontinuierlichen Vegetationsdecke und den blühenden Zwischenfrüchten, da sie ganzjährig Nahrungsquellen und Nistmöglichkeiten finden. Die Vermeidung von Pflug- und Grubberbearbeitung schützt zudem bodennistende Bestäuber und trägt damit langfristig zur Stabilität von Ökosystemleistungen in der Landwirtschaft bei³⁰.

Darüber hinaus zeigt sich, dass CA-Systeme auch die Vogelpopulationen in landwirtschaftlichen Flächen deutlich erhöhen. Studien belegen, dass die Anzahl an Vogelarten in CA-Bewirtschaftungssystemen um bis zu 29 Prozent höher ist als in

konventionell bearbeiteten Feldern. Besonders Bodenbrüter, wie Feldlerche und Rebhuhn, profitieren von der geringen mechanischen Störung und der kontinuierlichen Vegetationsdecke, wodurch ihre Nistmöglichkeiten und Überlebensraten gesteigert werden. Die Individuendichte kann in CA-Flächen um mehr als 300 Prozent steigen, da die kontinuierliche Bodenbedeckung mehr Futterquellen und Schutz vor Fressfeinden bietet³¹.

10.3 Positiver Einfluss auf den Wasserhaushalt

Die Konservierende Landwirtschaft hat nachweislich einen positiven Einfluss auf den Wasserkreislauf und das Mikroklima landwirtschaftlicher Flächen. Die Verbesserung der Bodenstruktur durch minimalen Eingriff, Humusaufbau und Förderung der Bodenorganismen erhöht die Wasserinfiltration und -speicherung erheblich³². Böden mit einem hohen Anteil an organischer Substanz können ein Vielfaches ihres Eigengewichts an Wasser speichern, wodurch insbesondere in Trockenperioden eine stabilere Wasserversorgung gewährleistet wird³³. Untersuchungen zeigen, dass die Wasserspeicherfähigkeit durch eine Erhöhung des Humusgehalts signifikant gesteigert werden kann³⁴.

Zusätzlich wird durch die Förderung stabiler Bodenaggregate die Versickerung von Niederschlagswasser verbessert, wodurch weniger Oberflächenabfluss und Erosion entstehen³⁵. Dies trägt dazu bei, dass mehr Wasser in tiefere Bodenschichten gelangt,

Grundwasserneubildung gefördert und das regionale Wasserregime stabilisiert wird. Die Kombination aus Mulchauflage und kontinuierlicher Bodenbedeckung verringert zudem die Verdunstungsrate und verhindert das Austrocknen der oberen Bodenschichten, wodurch sich auch der Landschaftswasserhaushalt positiv entwickelt³⁶. Dies führt zu einer stärkeren lokalen Kühlung und trägt dazu bei, kleinräumige Wasserkreisläufe zu regenerieren, was insbesondere in Gebieten mit zunehmenden Temperaturspitzen und Dürren von entscheidender Bedeutung ist.

Die positiven Effekte einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung wirken sich nicht nur auf die Biodiversität und das Wassermanagement aus, sondern haben auch direkte Auswirkungen auf die Produktivität von Agrarökosystemen. Ein gesunder Boden bildet die Grundlage für eine höhere Nettoprimärproduktion (NPP). Die NPP misst die Rate, mit der Pflanzen durch Photosynthese Biomasse produzieren, und reflektiert somit die Effizienz der Kohlenstoffbindung und die allgemeine Bodenfruchtbarkeit. Eine hohe NPP weist auf ein produktives und gesundes Ökosystem hin, während eine niedrige NPP auf Degradationsprozesse wie Bodenerosion oder Nährstoffverlust hindeuten kann. Diese primäre Produktion bestimmt, wie viel pflanzliche Biomasse für landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht, und ist somit eine zentrale Messgröße für die langfristige Ertragsfähigkeit von Agrarflächen.

Studien zeigen, dass eine höhere mikrobiologische Vielfalt im Boden und eine bessere Nährstoffverfügbarkeit direkt mit einer gesteigerten NPP in Acker- und Graslandflächen korrelieren³⁷. Insbesondere die Präsenz stickstofffixierender Bakterien, Mykorrhizapilze und förderlicher Bodenmikroben erhöht die Effizienz der Pflanzenernährung und führt zu einer besseren Biomasseproduktion. Gleichzeitig zeigen Daten aus europäischen Landwirtschaftsflächen, dass Böden mit höherer organischer Substanz und stabileren Bodenstrukturen über längere Wachstumsperioden hinweg produktiver sind, da sie Wasser und Nährstoffe effizienter speichern und bereitstellen können³⁸.

Faktoren wie Bodenerosion, Nährstoffverlust und Verdichtung können die NPP hingegen erheblich reduzieren und damit langfristig die Ertragsfähigkeit gefährden. Die Umsetzung konservierender Anbaumethoden, die den Boden schützen und seine biologische Aktivität fördern, trägt daher entscheidend dazu bei, die langfristige Leistungsfähigkeit von Agrarökosystemen zu sichern und nachhaltige Erträge zu gewährleisten. Maßnahmen wie minimaler Bodeneingriff, kontinuierliche Bodenbedeckung und diverse Fruchtfolgen sorgen nicht nur für eine höhere Bodenfruchtbarkeit, sondern stärken auch die Anpassungsfähigkeit von landwirtschaftlichen Systemen an klimatische Veränderungen.



11 ● Politische Forderungen und Handlungsempfehlungen

Die aktuelle Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU, die zu einem großen Teil auf flächenbasierten weitgehend leistungsunabhängigen Subventionen beruht, zeigt bei erheblichem finanziellen Mittelaufwand gravierende Ineffizienzen. Jährlich fließen rund 55 Milliarden Euro in die europäische Landwirtschaft, wovon über 6,3 Milliarden Euro an EU-Mitteln in Deutschland bis zum Ende der aktuellen GAP-Förderperiode zur Verfügung stehen. Diese erheblichen Investitionen führen aufgrund ihrer geringen Lenkungswirkung jedoch nicht dazu, die drängenden ökonomischen, ökologischen und sozialen Herausforderungen zu lösen. Konditionalitäten für den Erhalt der Gelder wurden jüngst sogar wieder abgebaut. Der Verlust der Biodiversität, die Entkopplung natürlicher Kreisläufe sowie die soziale und wirtschaftliche Schwächung ländlicher Regionen bleiben weitgehend unbeantwortet. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist eine Neuausrichtung der Agrarförderung und -politik erforderlich, die die Gesundheit der Agrarökosysteme – insbesondere der Böden – in den Mittelpunkt stellt und eine intelligente Mischung aus gesetzlichen Standards und gezielter finanzieller Honorierung beinhaltet. Folgende Aspekte einer Honorierung werden insbesondere für die Skalierung der konservierenden Landwirtschaft vorgeschlagen:

- Landwirtschaftliche Maßnahmen, wie der Zwischenfruchtanbau, minimal-invasive Saattechniken und der Einsatz von Spezialgeräten, die für die Transformation hin zu regenerativen Anbausystemen notwendig sind, sollten prioritär finanziell unterstützt werden. Diese Anbaupraktiken fördern nicht nur die Bodengesundheit und die Funktion natürlicher Kreisläufe, sondern reduzieren auch die Abhängigkeit von synthetischen Betriebsmitteln, wie chemischen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln.
- Ebenso wichtig sind Förderprogramme, wie z. B. Ökoregelungen, die eine Honorierung von Bodenbedeckung und damit verbundene ökologische Leistungen adressieren³⁹. Solche Ansätze tragen nicht nur zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und des Wassermanagements bei, sondern unterstützen auch eine produktionsintegrierte Schädlings- und Krankheitsregulierung. Die langfristigen ökologischen Vorteile dieser Maßnahmen stärken zudem die wirtschaftliche Resilienz der Betriebe und bieten einen Mehrwert für die Gesellschaft.

→ Der Ansatz einer ergebnisorientierten Honorierung und Ausrichtung der europäischen Agrarpolitik böte die Möglichkeit, Landwirt*innen Handlungsfreiheit zu geben, um das Ziel einer verbesserten Bodenqualität zu erreichen. Somit könnten gezielt die Regeneration von Böden, die Förderung der Biodiversität und die Anpassung an den Klimawandel gefördert werden. Ein zentraler Bestandteil einer ergebnisorientierten Agrarpolitik ist die Entwicklung kontextspezifischer Indikatoren und Benchmarks, die die Leistungen der Landwirt*innen messbar und vergleichbar machen. Diese Indikatoren sollten auf die lokalen und regionalen Bedingungen abgestimmt sein und als Grundlage für einfache, direkte und unbürokratische Zahlungen dienen. Mögliche Indikatoren könnten zum Beispiel Nettoprimärproduktion (NPP) und der Grad der Bodenbedeckung sein⁴⁰. Diese sind mit geringen Fehlerquellen durch Fernerkundung auswertbar und entsprechende Zahlungen könnten dazu beitragen, den bürokratischen Aufwand zu verringern. NPP als Indikator könnte ein wirksamer Hebel sein für eine ergebnisorientierte Agrarförderung und ermöglicht eine umfassende Bewertung der ökologischen Gesundheit und Produktivität landwirtschaftlicher Flächen.



Anhang

Methodik: Vergleichsdaten für Pflanzenschutzmittel- & Stickstoffeinsatz

Um die Daten der 17 CA-Beispielbetriebe sinnvoll vergleichen zu können, benötigten wir präzise Referenzwerte, die sowohl regionale Unterschiede als auch die spezifischen Bewirtschaftungsmethoden abbilden. Diese Informationen waren essenziell, um die Ergebnisse aus Konservierender Landwirtschaft (CA) in einen sinnvollen Kontext mit konventionellen Systemen zu setzen. Hierfür konnten wir auf Daten einer spezialisierten Betriebsberatungsfirma zurückgreifen, die repräsentative Applikationsmuster für Betriebe aus dem Umland unserer untersuchten CA-Betriebe bereitstellte.

Die bereitgestellten Daten umfassten durchschnittliche Applikationsmuster für Betriebe, die entweder mit Pflug- oder Mulchsaatverfahren wirtschaften. Diese Muster wurden spezifisch für die vier untersuchten Regionen und die vier betrachteten Kulturen erstellt und deckten die drei Jahre des Untersuchungszeitraums ab. Sie beinhalteten den durchschnittlichen Stickstoffeinsatz je Hektar sowie detaillierte Behandlungsmuster, die die eingesetzten Wirkstoffe und deren Aufwandmengen darstellten. Zusätzlich lieferte die Beratungsfirma für jede Region ein extensives bzw. weniger intensives Applikationsmuster, das Betriebe abbildet, die weniger intensiv wirtschaften

und somit einen leicht reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz aufweisen. Diese extensiven Muster wurden in die Analyse integriert, um eine breitere Vergleichsbasis zu schaffen und die Effekte von CA sowohl gegenüber intensiven als auch weniger intensiven konventionellen Systemen zu bewerten. Auf Basis dieser umfassenden Datengrundlage konnten generische Applikationsmuster entwickelt werden, die es ermöglichten, die spezifischen Daten der CA-Betriebe präzise mit den regionalen Standards der konventionellen Systeme zu vergleichen. Dies erlaubte nicht nur einen regionalisierten Vergleich, sondern schuf auch eine fundierte Basis, um die Umweltbelastungen und Effizienzunterschiede der verschiedenen Systeme zu analysieren.

Im Vergleich zu intensiven konventionellen Systemen zeigt die weniger intensive Variante eine geringfügige Reduktion der Umweltbelastung. Die weniger intensiven Muster schließen die letzten Fungizid-, Insektizid- und Wachstumsreglerbehandlungen, typischerweise im April/Mai, aus. Die Daten der Betriebsberatung legen nahe, dass die Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln etwa drei bis fünf Prozent geringer ausfallen als bei den intensiven Applikationsmustern. Damit bietet die weniger intensive Variante zwar eine gewisse Entlastung für Umwelt und Boden, bleibt jedoch weiterhin stark von

chemischen Herbiziden und anderen konventionellen Mitteln abhängig, zusätzlich zur intensiven Bodenbearbeitung und geringer Bodenbedeckung.

Die Auswertung der Daten erfolgte anhand der vier bodenklimatischen Regionen bzw. Cluster, die statistisch analysiert wurden. Die Betriebsdaten der untersuchten CA-Betriebe wurden stets mit den regionsspezifischen Mustern zum Pflanzenschutzmittel- und Stickstoffeinsatz der Betriebsberatung abgeglichen. Dabei erfolgte eine regionsspezifische Auswertung je nach Kultur, und für jede Region wurden Durchschnittswerte für den Pflanzenschutzmittel- und Stickstoffeinsatz erstellt. Diese Durchschnittswerte wurden anschließend gewichtet, basierend auf der Stichprobenzahl in den jeweiligen Regionen. Auf Grundlage der Differenzen zwischen den Regionen, Kulturen und den drei Untersuchungsjahren wurden die Differenzen gemittelt und gewichtet, um eine gesamtdeutsche Reduktion des Pflanzenschutzmittel- und Stickstoffeinsatzes zu berechnen. Diese aggregierten Ergebnisse sind in der Studie in Abb. 4 dargestellt.

Methodik: Treibstoffanalyse

Um die Energieeffizienz verschiedener Anbausysteme zu analysieren, wurden drei typische Arbeitsverfahren – Pflug, Mulchsaat und Direktsaat – untersucht. Diese repräsentieren unterschiedliche Ansätze der Bodenbearbeitung, die in der landwirtschaftlichen Praxis weit verbreitet sind. Während das Pflugsystem eine intensive Bearbeitung des Bodens erfordert, bei der Schritte wie Stoppelgrubbern, Pflügen, Eggen und die Aussaat mit Kreiselegge und Sämaschine zum Einsatz kommen, reduziert die Mulchsaat die Eingriffe in den Boden. Hier wird das Pflügen durch den Einsatz eines Tiefgrubbers ersetzt, während die übrigen Arbeitsschritte weitgehend erhalten bleiben. Die Direktsaat hingegen verzichtet nahezu vollständig auf die Bodenbearbeitung. Zwischenfrüchte und Hauptkulturen werden direkt mit speziellen Direktsaatmaschinen eingesät, begleitet von einer einmaligen Überfahrt mit der Pflanzenschutzspritze zur chemischen Unkrautkontrolle. Im Folgenden die Annahmen zu den im KTBL-Rechner verwendeten Maschinen:

KTBL-Szenarien mit dazugehörigen Arbeitsverfahren zur Berechnung des Treibstoffverbrauchs

Szenario 1 (Pflug):	Arbeitsbreite und Leistung (kW)
Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	3m; 120 kW
Grubbern mit Flügelschargrubber	3m, 102 kW
Pflügen mit Drehverstellpflug, angebaut	5 Schare; 157 kW
Eggen mit Federzinkenegge, angebaut	4,5 m; 102 kW
Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	3 m, 120 kW
Szenario 2 (Mulchsaat)	
Stoppelgrubbern flach, schräg (30°)	3m; 120 kW
Grubbern mit Flügelschargrubber	3m, 102 kW
Grubbern mit Tiefgrubber	3m; 157 kW
Eggen mit Federzinkenegge, angebaut	4,5 m; 102 kW
Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	3 m, 120 kW
Szenario 3 (Direktsaat)	
Säen von Grassamen mit Direktsaatmaschine	3m, 102 kW
Pflanzenschutzspritze, angehängt	21m; 3.000 l; 83 kW
Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	3m, 102 kW

Tabelle 3: Berechnung des Treibstoffverbrauchs. Quelle: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.

Die Berechnungen wurden mithilfe des KTBL-Rechners durchgeführt und basieren auf einheitlichen Rahmenbedingungen, um eine belastbare Vergleichbarkeit der Verfahren sicherzustellen. Die Modellierung orientierte sich an einer Feldgröße von fünf Hektar und einer Hof-Feld-Entfernung von fünf Kilometern. Einheitliche Arbeitsbreiten wurden für die eingesetzten Maschinen festgelegt: Grubber und Sämaschinen hatten eine Arbeitsbreite von drei Metern, die Federzinkenegge 4,5 Meter und die Pflanzenschutzspritze 21 Meter. Diese standardisierten Parameter ermöglichten praxisnahe Ergebnisse, die nicht durch betriebsindividuelle Unterschiede verzerrt wurden.

Methodik: Bodenproben

In den letzten Jahren haben technologische Fortschritte neue digitale Methoden zur Messung der Bodenbiodiversität ermöglicht und das Potenzial für eine Automatisierung des Prozesses geschaffen. Dadurch werden umfassendere und skalierbare Biodiversitätsbewertungen möglich. Zu diesen Methoden gehören das Community-Level Physiological Profiling (CLPP) und das Umwelt-DNA (eDNA) Metabarcoding.

Das Community-Level Physiological Profiling (CLPP) misst die funktionelle Biodiversität, indem es die Fähigkeit der Bodenorganismen bewertet, verschiedene Kohlenstoff- und Stickstoffquellen zu nutzen. Dadurch lässt sich die Vielfalt der Organismen im Boden annähernd bestimmen.

Trotz des geringen Gerätebedarfs und seines hohen Standardisierungspotenzials liefert CLPP jedoch keine detaillierten Informationen zu einzelnen Arten. Es kann aber wertvolle Einblicke in die Gesamtmenge der Bodenorganismen bieten und andere neue Methoden ergänzen. Da CLPP oft leicht verfügbar ist, könnte es als übergeordneter Indikator dienen, bevor genauere Analysen durchgeführt werden.

Die CLPP-Methode von BIOTREX liefert Aussagen zu praktischer Relevanz der funktionellen Bodenbiodiversität und Bodengesundheit. Hierfür wurden im Rahmen dieser Studie Bodenproben auf sechs der siebzehn Betriebe gezogen. Dabei wurden jeweils Paare von Schlägen mit CA-Bewirtschaftung und direkt benachbarten konventionell bewirtschafteten Feldern untersucht, um sicherzustellen, dass die boden-klimatischen Bedingungen vergleichbar sind und lediglich die Bewirtschaftungsweise variiert. Der Zeitraum der Beprobung war August bis September 2023.

Die Probenahme erfolgte in einem Raster basierend auf der Photosyntheseleistung des jeweiligen Ackers. Die Untersuchungsschläge wurden in drei Ertragsregionen unterteilt, um eine repräsentative Abbildung der Variabilität innerhalb der Fläche zu gewährleisten. Insgesamt wurden 107 Proben innerhalb der sechs Paare analysiert, wobei ein umfassender Vergleich zwischen CA und konventionellen Systemen ermöglicht wurde.

Methodik: Spatenprobe zur Regenwurmzählung

Neben der Probennahme zur Auswertung der mikrobiellen Aktivität sind im selben Zuge jeweils Spatenproben zur optischen Zählung der Regenwürmer erfolgt. Diese Spatenprobe ist eine einfache und praxistaugliche Methode, um die Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen zu bewerten und Veränderungen im Bodenleben über die Zeit zu dokumentieren. Sie kann Landwirt*innen helfen, Entscheidungen zu Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und organischer Düngung zu optimieren, um langfristig gesunde Böden mit hoher biologischer Aktivität zu fördern. Mit einem Spaten wurde ein 20 x 20 cm großer und ca. 25 cm tiefer Bodenblock entnommen. Dieser entsprach den gängigen Standards für Regenwurmuntersuchungen. Die Größe entspricht in etwa dem Volumen, das in wissenschaftlichen Untersuchungen für standardisierte Regenwurmzählungen genutzt wird. Der Bodenblock wurde vorsichtig auf eine Folie gelegt, um eine bessere Sicht auf die Bodenstruktur zu ermöglichen. Für die Zählung wurde der Boden vorsichtig mit den Händen zerlegt, um alle Würmer möglichst vollständig zu erfassen. Die Artenverteilung wurde dabei außer Acht gelassen. Es ging rein um die Anzahl der in der Probe befindlichen Regenwürmer.

Die gezählte Regenwurmdichte gibt wertvolle Hinweise auf den Zustand des Bodens und können ein Richtwert sein. Ein niedriger Regenwurmbesatz (< fünf Würmer pro Probe) kann auf eine schlechte Bodenstruktur, Verdichtung oder einen Mangel an organischem Material hinweisen. Mittelwerte zwischen fünf und zehn Würmern deuten auf eine gesunde, aber möglicherweise verbesserungsfähige biologische Aktivität hin, während über zehn Würmer pro Probe auf eine gute Humusbildung, stabile Bodenstruktur und hohe biologische Aktivität schließen lassen. Werte über 25 Würmern pro Probe sind ein Zeichen für eine sehr hohe Bodenfruchtbarkeit und optimale Bedingungen für Pflanzenwachstum.



Fußnoten

- ¹ https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/klimaschuetzer-land-und-forstwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- ² <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung?>
- ³ BMEL, 2024: Klimaschutzprogramm 2023
- ⁴ Seibold, S. et al. (2019) 'Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers', *Nature*, 574, pp. 671–674. doi:10.1038/s41586-019-1684-3.
- ⁵ <https://www.feda.bio/de/das-ist-faktencheck-artenvielfalt/>
- ⁶ Eurostat, 2022: EU's agricultural labour productivity up by 13% in 2022
- ⁷ BMEL, 2024: Zukunftsprogramm Pflanzenschutz
- ⁸ Der Weg zu Regenerativer Landwirtschaft in Deutschland – NABU
- ⁹ Statistisches Bundesamt, 2023: Ökologischer Landbau in Deutschland: Ackerland und Dauergrünland
- ¹⁰ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (2015) Bodenbearbeitung und Bestellung – Grundlagen, Verfahren, ökonomische Bewertung. Darmstadt: KTBL.
- ¹¹ Miljøstyrelsen (2012) The Agricultural Pesticide Load in Denmark 2007-2010: Environmental review no. 2, 2012
- ¹² Möhring, N., Gaba, S. and Finger, R. (2019) 'Quantity based indicators fail to identify extreme pesticide risks', *Science of the Total Environment*, 646, pp. 503–523. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.287.
- ¹³ Kudsk P, Jørgensen LN, Ørum JE (2018) Pesticide Load—A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy* 70:384-393.
- ¹⁴ Kudsk P, Jørgensen LN, Ørum JE (2018) Pesticide Load—A new Danish pesticide risk indicator with multiple applications. *Land Use Policy* 70:384-393.
- ¹⁵ Dehler, M. (2023) 'Maßnahmen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes: Anpassungsoptionen, Kosten und Möglichkeiten zur umweltpolitischen Steuerung', *Thünen Report*, 104. doi:10.3220/REP1678173967000.
- ¹⁶ Miransari, M. (2011) 'Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(4), pp. 917–930. doi:10.1007/s00253-010-3004-6.
- ¹⁷ Derpsch, R., Kassam, A., Reicosky, D., Friedrich, T., Calegari, A., Basch, G., Gonzalez-Sanchez, E. and dos Santos, D.R. (2024) 'Nature's laws of declining soil productivity and Conservation Agriculture', *Soil Security*, 14, p. 100127. doi:10.1016/j.soisec.2024.100127.
- ¹⁸ Lal, R. (2015) 'Restoring soil quality to mitigate soil degradation', *Sustainability*, 7(5), pp. 5875–5895. doi:10.3390/su7055875.

- ¹⁹ Aufbauende Landwirtschaft (o. J.) '70°C auf dem Boden?', Aufbauende Landwirtschaft. <http://aufbauende-landwirtschaft.de/70c-auf-dem-boden/>
- ²⁰ Freitag, M., Friedrich, T. and Kassam, A. (2024) 'The carbon footprint of Conservation Agriculture', *International Journal of Agricultural Sustainability*. doi:10.1080/14735903.2024.2331949.
- ²¹ BonaRes – Centre for Soil Research (2024) 'CATCHY: Carbon Turnover and Agricultural Rhizosphere Processes – Catchment Scale', BonaRes Fact Sheet.
- ²² Lal, R. (2020) 'Soil organic matter and water retention', *Agronomy Journal*, 112(5), pp. 3265–3277. doi:10.1002/agj2.20282.
- ²³ Dabney, S.M., Delgado, J.A., Meisinger, J.J., Schomberg, H., Liebig, M.A., Kaspar, T., Mitchell, J., Reeves, D.W., Shipley, P.R. and Watson, M.E. (2010) 'Using Cover Crops and Cropping Systems for Nitrogen Management', in *Advances in Nitrogen Management for Water Quality*. Soil and Water Conservation Society, pp. 230–281.
- ²⁴ Lal, R. (2020) 'Soil organic matter and water retention', *Agronomy Journal*, 112(5), pp. 3265–3277. doi:10.1002/agj2.20282.
- ²⁵ Scholz-Starke, B. und Daniels, B. (2023) 'Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes und deren Wirkung auf umweltbezogene Schlüsselparameter', *Umweltbundesamt Texte*, 145/2023.
- ²⁶ Miransari, M. (2011) 'Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(4), pp. 917–930. doi:10.1007/s00253-010-3004-6.
- ²⁷ Bender, S.F., Schulz, S., Martínez-Cuesta, R., Laughlin, R.J., Kublik, S., Pfeiffer-Zakharova, K., Vestergaard, G., Hartman, K., Parladé, E., Römbke, J., Watson, C.J., Schloter, M. und van der Heijden, M.G.A. (2023) 'Reduzierte Nährstoffeffizienz und grössere Umweltbelastung durch Verarmung des Bodenlebens', *Agrarforschung Schweiz*, 14(12), S. 1–6.
- ²⁸ Derpsch, R., Kassam, A., Reicosky, D., Friedrich, T., Calegari, A., Basch, G., Gonzalez-Sanchez, E. und dos Santos, D.R. (2024) 'Nature's laws of declining soil productivity and Conservation Agriculture', *Soil Security*, 14, 100127. doi:10.1016/j.soisec.2024.100127.
- ²⁹ Leu, A.F. (2023) 'Maximizing photosynthesis and root exudates through regenerative agriculture to increase soil organic carbon to mitigate climate change', *SCIREA Journal of Agriculture*, 8(1), pp. 1–26. doi:10.54647/agriculture210317.
- ³⁰ European Conservation Agriculture Federation (ECAAF) (2023) 'Conservation Agriculture and Biodiversity'.
- ³¹ Søbby, J.M. (2020) 'Effects of agricultural system and treatments on density and diversity of plant seeds, ground-living arthropods, and birds'. Kandidatafhandling. Aarhus Universitet.
- ³² Lal, R. (2020) 'Soil organic matter and water retention', *Agronomy Journal*, 112(5), pp. 3265–3277. doi:10.1002/agj2.20282.
- ³³ Lal, R. (2015) 'Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation', *Sustainability*, 7(5), pp. 5875–5895. doi:10.3390/su7055875.
- ³⁴ Lal, R. (2020) 'Soil organic matter and water retention', *Agronomy Journal*, 112(5), pp. 3265–3277. doi:10.1002/agj2.20282.

- ³⁵ Derpsch, R., Kassam, A., Reicosky, D., Friedrich, T., Calegari, A., Basch, G., Gonzalez-Sanchez, E. und dos Santos, D.R. (2024) ‚Nature’s laws of declining soil productivity and Conservation Agriculture‘, *Soil Security*, 14, 100127. doi:10.1016/j.soisec.2024.100127.
- ³⁶ Schwarzer, S. (2021) ‚Bedeckt die Böden!‘, *Ökologie & Landbau*, 3/2021.
- ³⁷ Romero, F., Labouyrie, M., Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., Tedersoo, L., Bahram, M., Guerra, C.A., Eisenhauer, N., Tao, D., Delgado-Baquerizo, M., García-Palacios, P. und van der Heijden, M.G.A. (2024) ‚Soil health is associated with higher primary productivity across Europe‘, *Nature Ecology & Evolution*, 8, S. 1847–1855. doi:10.1038/s41559-024-02511-8.
- ³⁸ Joint Research Centre (JRC) (2018) *World Atlas of Desertification (WAD)*. European Commission. Verfügbar unter: <https://wad.jrc.ec.europa.eu>
- ³⁹ <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/231021-nabu-vorschlag-oekoregelung-bodenbedeckung.pdf>
- ⁴⁰ Joint Research Centre (JRC) (2018) ‚Net Primary Production‘, *World Atlas of Desertification*. Europäische Kommission. Verfügbar unter: <https://wad.jrc.ec.europa.eu/primaryproduction>

www.NABU.de