

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

**CATCHY – Catch-cropping as an Agrarian
Tool for Continuing Soil Health and Yield-
increase**

Bauer, Bernhard; Breunig, Peter

Förderkennzeichen 031B1060D

„Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1060D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.“

CATCHY



CATCHY

Catch-cropping as an Agrarian Tool for Continuing Soil Health and Yield-increase

Schlussbericht (Kurzfassung), 2025

Final Report (short version), 2025

Zuwendungsempfänger: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf , SP1

Förderkennzeichen:

031B1060D

Laufzeit des Vorhabens:

01.04.2021 – 31.07.2024

Berichtszeitraum:

01.04.2021 – 31.07.2024

Ziel des Projektes war es weitere, den Pflanzenbau betreffende, Erkenntnisse über Zwischenfrüchte und deren Auswirkungen auf nachfolgende Kulturen und Fruchtfolgen zu gewinnen. Der Fokus lag dabei insbesondere auf dem Vergleich von Zwischenfruchtreinsaaten mit Zwischenfruchtmischungen und der Betrachtung von langfristigen Effekten auf verschiedene Fruchtfolgen durch den wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten.

In der dritten Projektphase sollte der Dauerversuch fortgeführt werden, der in der ersten Projektphase etabliert wurde, um langfristige Effekte (Jahr 6 bis 8) durch die Integration von Zwischenfrüchten in Reinsaat und Mischungen im Vergleich zur Brache in zwei kontrastierenden Fruchtfolgen zu erfassen. In parallel durchgeführten Kurzzeitversuchen sollten die Interaktionen innerhalb systematisch erstellter Zwischenfruchtmischungen und deren Auswirkungen auf die Ertragskomponenten der Nachfrucht Mais evaluiert werden.

Für das Teilprojekt SP1 Crop Production wurden folgende Ziele definiert:

- Untersuchung von Effekten des zeitlich wiederholten Zwischenfruchtanbaus in 2 Fruchtfolgen auf die Biomassebildung der Zwischenfrüchte und die Ertragskomponenten und den Ertrag der Hauptfrüchte
- Optimierung der systematisch erstellten Zwischenfruchtmischungen anhand der Ergebnisse der Testerkultur Mais
- Integration von Zwischenfrüchten in den praktischen Anbau

Die Planungen des Dauerversuches wurden schon zu Beginn der 1. Projektphase festgelegt und dementsprechend wurde der Dauerversuch in der 3. Projektphase weiter nach diesem Plan durchgeführt. Der Langzeit-Fruchtfolgeversuch konnte im Projektzeitraum im Vergleich zur 2. Projektphase ohne extreme Trockenzeiten durchgeführt werden.

Die Kurzzeitversuche wurden aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse aus der zweiten Finanzierungsphase weiterentwickelt und im Umfang auf dem Niveau des zweiten Projektzeitraums weitergeführt. Die Erfassung aller geplanten Messwerte konnte ausgeführt werden. Zusätzlich wurden Untersuchungen zum Management von Zwischenfrüchten unter Praxisbedingungen durchgeführt.

SP1 Agronomy

Zahlreiche Publikationen präsentieren Ergebnisse zu Biomassebildung, N- und C-Aufnahme von Zwischenfrüchten und deren Auswirkungen auf den Ertrag der Folgekultur. Die Wirkung des wiederholten Zwischenfruchtanbaus in Fruchtfolgen und auf den Ertrag und die Ertragskomponenten von Hauptfrüchten in diesen Fruchtfolgen ist aber in der aktuellen Literatur nur rudimentär dargestellt. In dem Projekt werden auch in den Kurzzeitversuchen mit systematisch erstellten Zwischenfruchtmischungen zusätzlich zu der Datenerhebung der Zwischenfrüchte auch deren Wirkung auf die Nachfrucht Mais (Körnermais- & Silomaisnutzung) erfasst. Daten zu dieser Fragestellung sind in der aktuellen Literatur kaum vertreten oder die Mischungen sind nicht systematisch erstellt und es können keine Rückschlüsse auf die Wirkung der Zwischenfrüchte auf den Ertrag und die Ertragsbildung der Hauptkultur abgeleitet werden.

In CATCHY konnte gezeigt werden, dass der Zwischenfruchtanbau zwar keine statistisch absicherbaren Mehrerträge in den getesteten Fruchtfolgen brachte, aber auch zu keinen Mindererträgen führte, obwohl er zahlreiche Leistungen wie Erosion-Schutz, Humusaufbau, Wirkung auf das Mikrobiom, etc. zeigte. Allerdings hatten die einzelnen untersuchten Arten einen Einfluss auf einzelnen Ertragskomponenten der nachfolgenden Hauptfrüchte. Diese artspezifischen Wirkungen auf die Ertragsbildung ließen sich in Zwischenfruchtmischungen kombinieren und unterstützten dadurch gezielt den Ertragsaufbau. Diese Effekte waren vor allem unter wasserlimitierten Bedingungen während der Ertragsbildung der Hauptfrucht zu beobachten.

SP5 Economy

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass bereits das gesetzliche Minimum an Zwischenfruchtanbau ökonomisch vorteilhaft ist. Eine Ausweitung auf die maximale Fläche führt zu zusätzlichen wirtschaftlichen Vorteilen, vor allem durch Ertragssteigerungen bei der Folgekultur und Einsparungen bei Düngemitteln. Die Teilnahme an privatwirtschaftlichen Carbon-Farming-Initiativen bietet zusätzliche rentable Einkommensmöglichkeiten, ist jedoch durch die Vorgabe der „Zusätzlichkeit“ auf Flächen begrenzt, die über gesetzliche Vorgaben hinausgehen.

Zentrale Erkenntnisse bei der ökonomischen Bewertung betreffen die Anforderungen an international anerkannte Zertifizierungsmethoden, wobei Kriterien wie Permanenz und Zusätzlichkeit für die Glaubwürdigkeit entscheidend sind. Insbesondere wurde festgestellt, dass die beiden Kriterien besonders anspruchsvoll in der Umsetzung sind. Eine Voraussetzung ist, dass weniger als 20 % der Betriebe in einer Region die gleichen Maßnahmen bereits umsetzen, was den Handlungsspielraum deutlich einschränkt.

Zudem wurden zentrale gesellschaftliche Vorteile des Zwischenfruchtanbaus identifiziert: Verbesserung des Bodenschutzes, Reduktion der Stickstoffauswaschung, Kohlenstoffbindung sowie Förderung der Artenvielfalt und der Insektenpopulationen. Zur Messung der gesellschaftlichen Akzeptanz dieser Vorteile wurde ein Choice-Experiment mit 1.105 Teilnehmenden durchgeführt.

Obwohl viele Teilnehmer den Begriff „Zwischenfrucht“ kannten, erkannten nur wenige die Pflanzen auf dem Feld. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass gezielte Informationsarbeit notwendig ist, um die gesellschaftliche Akzeptanz des Zwischenfruchtanbaus zu erhöhen, insbesondere in Bezug auf Klima- und Artenschutz.

Im Rahmen des Projektes arbeitete die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf mit folgenden Institutionen oder Wirtschaftspartnern zusammen: Universität Bremen (UB), Leibniz-Universität Hannover (LUH), Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) und der Deutschen Saatgutveredelung (DSV). Die Projektkoordination wurde von der Universität Bremen durchgeführt.

CATCHY



CATCHY

Catch-cropping as an Agrarian Tool for Continuing Soil Health and Yield-increase

Schlussbericht, 2025

Final Report, 2025

Zuwendungsempfänger: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf , SP1

Förderkennzeichen:

031B1060D

Laufzeit des Vorhabens:

01.04.2021 – 31.07.2024

Berichtszeitraum:

01.04.2021 – 31.07.2024

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ziel des Projektes war es weitere, den Pflanzenbau betreffende, Erkenntnisse über Zwischenfrüchte und deren Auswirkungen auf nachfolgende Kulturen und Fruchtfolgen zu gewinnen. Der Fokus lag dabei insbesondere auf dem Vergleich von Zwischenfruchtreinsaaten mit Zwischenfruchtmischungen und der Betrachtung von langfristigen Effekten auf verschiedene Fruchtfolgen durch den wiederholten Anbau von Zwischenfrüchten.

In der dritten Projektphase sollte der Dauerversuch fortgeführt werden, der in der ersten Projektphase etabliert wurde, um langfristige Effekte (Jahr 6 bis 8) durch die Integration von Zwischenfrüchten in Reinsaat und Mischungen im Vergleich zur Brache in zwei kontrastierenden Fruchtfolgen zu erfassen. In parallel durchgeführten Kurzzeitversuchen sollten die Interaktionen innerhalb systematisch erstellter Zwischenfruchtmischungen und deren Auswirkungen auf die Ertragskomponenten der Nachfrucht Mais evaluiert werden.

Für das Teilprojekt SP1 Crop Production wurden folgende Ziele definiert:

- Untersuchung von Effekten des zeitlich wiederholten Zwischenfruchtanbaus in 2 Fruchtfolgen auf die Biomassebildung der Zwischenfrüchte und die Ertragskomponenten und den Ertrag der Hauptfrüchte
- Optimierung der systematisch erstellten Zwischenfruchtmischungen anhand der Ergebnisse der Testerkultur Mais
- Integration von Zwischenfrüchten in den praktischen Anbau

Der Versuchsstandort Triesdorf liegt auf 450 m über NN und weist eine jährliche Durchschnittstemperatur von 8,7°C und eine jährliche Niederschlagsmenge von 674 mm auf. Der Boden ist durch einen Untergrund aus Schichten des Sandsteinkeupers, welche aus einer Sandstein-Tonstein-Wechselfolge mit Dolomiteinlagerungen bestehen und einer damit einhergehenden größeren Substratinhomogenität charakterisiert. Die vorherrschenden Bodenarten bewegen sich dementsprechend zwischen sandigem Lehm bis sandig-tonigem Lehm. Die Witterung in den Versuchsjahren 2021-2024 war von ausgeprägter Frühjahrs- und Sommertrockenheit geprägt, aber auch von Nässeperioden in den letzten 2 Jahren. Die Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftlichen Lehranstalten Triesdorf (LLA) des Bezirks Mittelfranken ermöglichte die Nutzung derer Versuchsflächen für die Durchführung der Feldversuche im Projekt CATCHY. Für die Bewirtschaftung der Versuchsflächen konnte auf Versuchstechnik der HSWT sowie Pflege-, Ernte- und Bodenbearbeitungstechnik der LLA zurückgegriffen werden. Bei Arbeitsspitzen, wie beispielsweise Erntearbeiten konnte zudem zusätzliches Personal der LLA hinzugezogen werden.

WP1.1 Langzeiteffekte von Zwischenfrüchten in einer humus-akkumulierenden und einer humus-degradierenden Fruchtfolge

In der dritten Projektphase wurden im Dauerversuch Erkenntnisse über die langfristigen Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf den Ertrag und die Ertragskomponenten der Hauptfrüchte Mais, Weizen und Ackerbohne in den beiden kontrastierenden Fruchtfolgen

gewonnen. Weiterhin wurde auch die Bestandesetablierung und die Sprossmassebildung der verschiedenen Zwischenfruchtvarianten im Dauerversuch erfasst. Wie bereits in der ersten und zweiten Phase wurden 6 Zwischenfruchtvarianten, bestehend aus den Reinsaaten Senf, Phacelia, Rauhafer und Alexandrinerklee, eine Mischung aus den vier genannten Arten und eine Mischung mit 12 Komponenten aus dem Programm der Deutschen Saatenveredlung (DSV) angebaut. Als Kontrolle diente die Variante „Brache“, in der keine Zwischenfrucht ausgesät wurde. Die Varianten wurden in einen Fruchtwechsel von Mais und Weizen (humuszehrende Fruchtfolge) und eine weitere Fruchtfolge, in der sich Mais und Ackerbohne als Sommerung abwechseln (humusmehrende Fruchtfolge), integriert. Um jedes Jahr Ergebnisse von den Zwischenfrüchten und Hauptkulturen zu erhalten, wurden beide Fruchtfolgen jeweils zwei Mal mit versetzten Startpunkten angebaut. Die Anbaujahre der dritten Projektphase 2021 - 2024 waren von Trockenheit geprägt, hatten aber auch Jahre die Niederschläge hatten, die im langjährigen Mittel lagen. Alle Arbeiten konnten wie geplant durchgeführt werden.

Die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf die Erträge der nachfolgenden Hauptfrüchte können generell sehr unterschiedlich sein und hängen von einer Vielzahl komplex ineinandergreifender Faktoren ab, die sich über unterschiedliche Zeiträume vollziehen. Zu den langfristigen Einflussfaktoren auf die Ertragsleistung von Hauptfrüchten zählt die Fähigkeit von Zwischenfrüchten, die Erosionsgefahr zu mindern (Blanco-Canqui et al. 2015), Kohlenstoff in Form von Humus im Boden zu binden und damit ein Nährstoffdepot aufzubauen sowie dem anthropogen verursachten Klimawandel entgegenzuwirken (Chahal et al. 2020; Kaye und Quemada 2017; Poeplau und Don 2015). Infolge des Klimawandels werden deutliche Ertragsrückgänge in der landwirtschaftlichen Produktion prognostiziert, die durch den Anbau von Zwischenfrüchten langfristig abgemildert werden können (Arora 2019; Praveen und Sharma 2019). Auch die Humusanreicherung in landwirtschaftlich genutzten Böden durch den Anbau von Zwischenfrüchten ist ein langfristiger Prozess, der sich positiv auf die Ertragsfähigkeit der Böden auswirkt (Oldfield et al. 2019). Durch den Erosionsschutz tragen Zwischenfrüchte dazu bei, diese Ertragsfähigkeit zu bewahren und haben somit langfristig einen positiven Effekt auf die Erträge.

Mittelfristig kann sich der Zwischenfruchtanbau vor allem auf Faktoren auswirken, die sich am besten unter dem Begriff „Feldhygiene“ zusammenfassen lassen. Damit ist der Einfluss auf Beikrautpopulationen, Schädlinge und Krankheitserreger aller Art gemeint. Während sich der Zwischenfruchtanbau bei den langfristigen Einflussfaktoren gegenüber einer Brache zumeist positiv auswirkt, sind bei den letztgenannten Faktoren aber auch negative Ertragseffekte möglich. Ein Zwischenfruchtbestand kann nicht nur erfolgreich die Segetalflora unterdrücken, sondern damit sogar eine Verringerung des Bodensamenvorrates bewirken (Adeux et al. 2023; Fernando und Shrestha 2023; Mohler et al. 2018; Schumacher und Gerhards 2022). Unter ungünstigen Bedingungen oder bei nicht sachgerechtem Anbau der Zwischenfrüchte (z.B. unvorteilhafte Artenwahl, unzureichende Etablierung) kann jedoch auch genau das Gegenteil eintreten. Bei Schädlingen und Krankheitserregern ist die Situation sehr ähnlich (Damien et al. 2017). Diese können durch den Anbau von Zwischenfrüchten sowohl gehemmt werden, z. B. sind Zwischenfrüchte oftmals die einzige sinnvolle Möglichkeit

zur Bekämpfung von Schadnematoden (Wang et al. 2007). Aber auch gefördert werden, z.B. wenn durch eine ungünstige Artenwahl in Rapsfruchtfolgen die Ausbreitung von Kohlhernie begünstigt wird (Javed et al. 2023). Kurzfristige Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf den Ertrag nachfolgender Hauptfrüchte sind durch eine Beeinflussung der Bodenstruktur, des Wasser- und des Nährstoffhaushaltes möglich (Blanco-Canqui und Ruis 2020; Koudahe et al. 2022). Auch hier sind sowohl positive als auch negative Effekte denkbar. Wenn z.B. Zwischenfrüchte für ihr Wachstum mehr Wasser verbrauchen als durch Niederschläge wieder nachgeliefert wird, ist der Ertragseffekt eindeutig negativ (Garba et al. 2022; Wang et al. 2021). Durch die Wahl passender Arten, geeigneter Saatzeiten und der rechtzeitigen Abtötung der Zwischenfruchtbestände kann sich der Wasserhaushalt für Folgekulturen aber auch verbessern lassen (siehe Kapitel 9). Den Nährstoffhaushalt verbessern Zwischenfrüchte, indem sie Nährstoffe aufnehmen, speichern und wieder mobilisieren (Scavo et al. 2022). Der Abbau von schwer mineralisierbarer Zwischenfruchtstreu kann jedoch auch zu einer Immobilisierung von Stickstoff und damit zu einer Unterversorgung der Hauptkultur führen. Ein relativ neues, aber inzwischen intensiv bearbeitetes Forschungsfeld ist das Mikrobiom an der Schnittstelle Pflanze-Boden. Dass dieses auch durch den Anbau von Zwischenfrüchten nachhaltig beeinflusst werden kann, zeigen eindrucksvoll die Ergebnisse aus dem CATCHY-Projekt. Von der Vision einer gezielten Beeinflussung des Mikrobioms durch Zwischenfrüchte („Bioengineering“) und der damit angestrebten Verbesserung von Ertrag und Ertragsqualität landwirtschaftlicher Kulturpflanzen scheint man aber aktuell noch weit entfernt zu sein (Kaul et al. 2021; Lau et al. 2022; Zhang et al. 2021).

Die Vielfalt möglicher ertragsbeeinflussender Faktoren des Zwischenfruchtanbaus und deren komplexe Wechselwirkungen mit Standort, Witterung und Anbaumanagement erschweren die Zuordnung gemessener Ertragseffekte zu einzelnen Faktoren, deren Prognose und die Ableitung einfacher und genereller Empfehlungen. In einer Literaturrecherche von 536 wissenschaftlichen Studien zum Zwischenfruchtanbau vor der Hauptfrucht Mais zeigt sich ein breites Spektrum an Ertragseffekten. In 66 % der Studien zeigen Zwischenfrüchte einen positiven Effekt auf Silo- oder Körnermaiserträge. Weitere 26 % zeigen keine Ertragseffekte auf Silo- oder Körnermais. Unter den Studien sind aber auch 8 % mit negativen Ertragseffekten von durchschnittlich 8 % geringeren Erträgen. Analog zur Literaturlauswertung ergab auch die Auswertung der Silomaiserträge von knapp 2000 im CATCHY-Projekt beprobten Parzellen nur einen geringen Ertragsvorteil von im Mittel 0,8 % durch den Zwischenfruchtanbau. Das klingt zunächst ernüchternd, bedeutet aber im Umkehrschluss auch, dass die vielen Vorteile des Zwischenfruchtanbaus genutzt werden können, ohne Ertragseinbußen hinnehmen zu müssen.

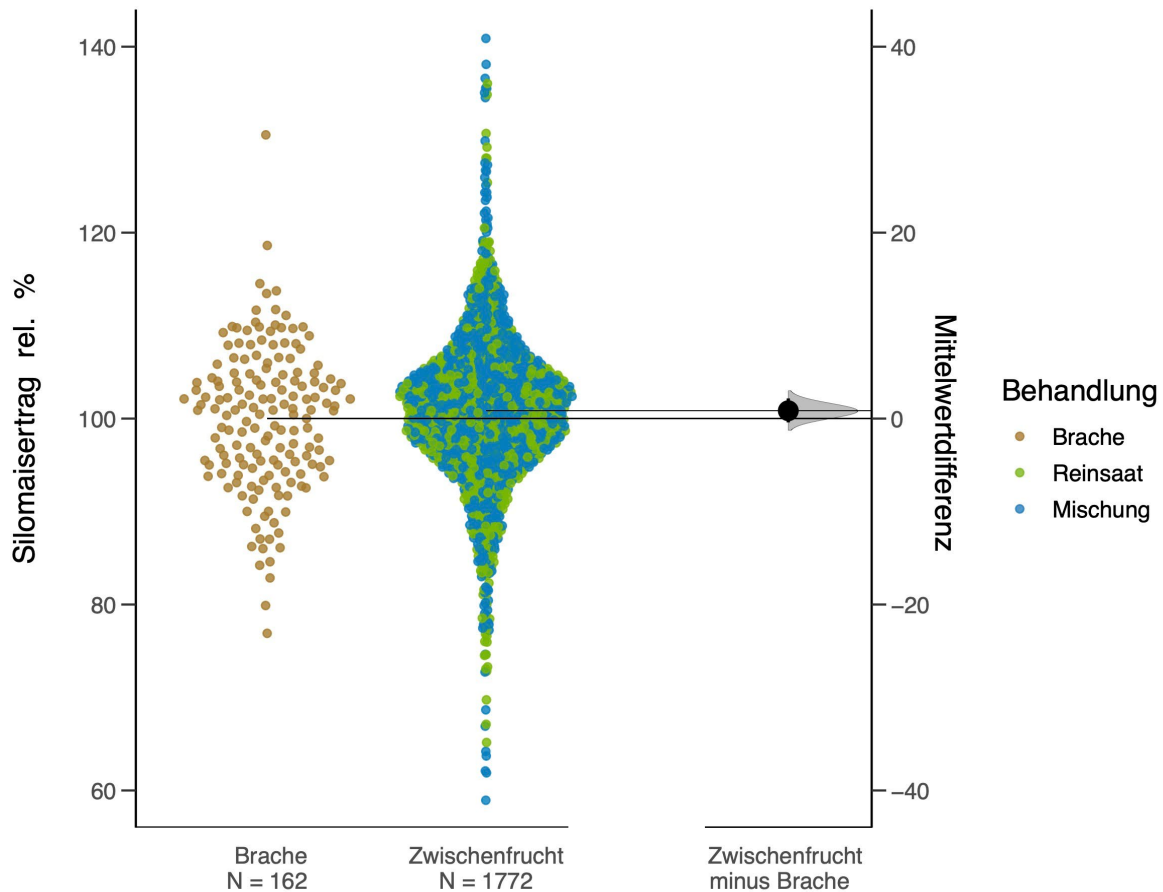


Abb. 1: Einfluss von Zwischenfrüchten als Reinsaat oder im Gemenge auf den Ertrag der ersten Folgekultur Silomais im Vergleich zur Brache an den Standorten Triesdorf und Asendorf in den Jahren 2016-2022.

Innerhalb der verschiedenen Zwischenfruchtvarianten gibt es eine breite Streuung der Silomaiserträge. Das bedeutet, dass allein durch die Artenwahl und die Mischungszusammensetzung ein gewisses Optimierungspotenzial für den Zwischenfruchtanbau besteht. Dazu müssen jedoch zunächst die Faktoren identifiziert werden, die die unterschiedlichen Ertragseffekte erklären. Einen großen Einfluss auf die Ertragseffekte der Zwischenfrüchte hatte im CATCHY-Projekt der Jahresfaktor, der maßgeblich durch die vorherrschenden Witterungsbedingungen bestimmt wird. Silomais, der nach Zwischenfruchtmischungen angebaut wurde, brachte im Mittel 1,1 % mehr Ertrag als Silomais, der nach Reinsaaten angebaut wurde. Eine mögliche Erklärung hierfür sind die in den Mischungen enthaltenen Leguminosen. In der Literatur wird häufig das C:N-Verhältnis der Zwischenfruchtbiomasse als wichtiger Faktor für Ertragseffekte genannt, da dieses die Mineralisationsraten beeinflusst (Elhakeem et al. 2023; Finney et al. 2016). Enge C:N-Verhältnisse wie sie bei Leguminosen aufgrund der hohen Proteingehalte vorkommen beschleunigen die Mineralisation, sodass die von der Zwischenfrucht aufgenommenen Nährstoffe bei der späteren Zersetzung der Zwischenfruchtbiomasse schneller pflanzenverfügbar werden. Im CATCHY-Projekt konnte jedoch kein allgemeiner Zusammenhang zwischen dem Ertrag, der N-Aufnahme oder dem C:N-Verhältnis der Zwischenfruchtsprossmasse und dem Ertrag des nachfolgenden Silomais festgestellt

werden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass trotz reduzierter Düngung die Nährstoffversorgung des Silomaises nicht so stark limitiert war, dass die Nährstoffnachlieferung aus der Zwischenfruchtbiomasse eine entscheidende Rolle spielte. Letztlich ist das C:N-Verhältnis aber nicht die einzige Variable, die die Nährstoffbereitstellung von Zwischenfrüchten erklärt (Porre et al. 2020).

In den meisten Studien werden nur die Ertragseffekte auf die direkt nachfolgende Hauptkultur untersucht und nicht die ganze Fruchtfolge als System betrachtet. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des CATCHY-Projekts ein Langzeitversuch angelegt, in dem die Erträge der gesamten Fruchtfolge untersucht werden und somit auch der Einfluss von wiederholtem Zwischenfruchtanbau sichtbar gemacht werden kann. Auch im Langzeitversuch wurde im Mittel der Jahre ein positiver Effekt der Zwischenfrüchte und insbesondere der Mischungen auf den Silomaisertrag festgestellt. Im Gegensatz dazu führte der Anbau von Zwischenfrüchten vor der Ackerbohne tendenziell zu einem geringeren Ertrag im Vergleich zur Brache (dies ist jedoch statistisch nicht abgesichert). Vor allem die leguminosenreiche 12er-Mischung und Klee in Reinsaat wiesen die größten Defizite auf. Dies könnte auf ertragsmindernde Effekte durch Leguminosenmüdigkeit hinweisen. Interessanterweise konnte jedoch der Winterweizen als zweite Hauptkultur nach der Zwischenfrucht mit Ertragssteigerungen zwischen 1 und 4 % von dieser profitieren.

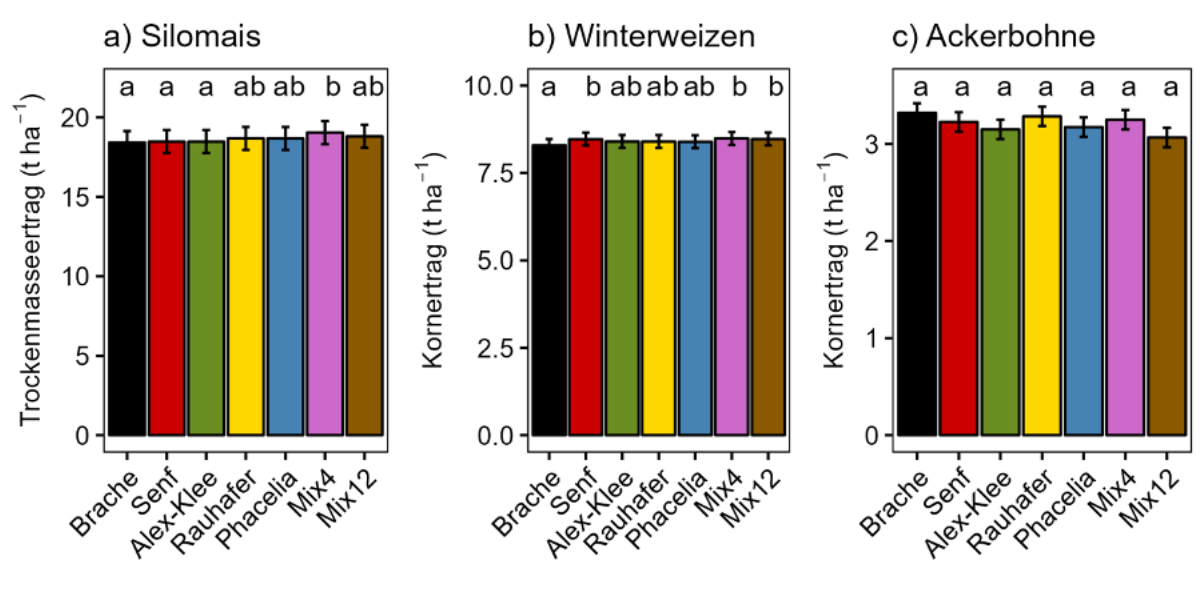


Abb. 2: Langzeiterträge (2016 bis 2022) von a) Silomais, b) Winterweizen und c) Ackerbohne. Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede.

Damit wird deutlich, dass der Ertragseffekt einer Zwischenfrucht auch über die erste Hauptkultur hinaus existiert und, dass zeitliche Unterschiede in den Ertragseffekten der getesteten Arten und Mischungen bestehen. Während Senf beim Silomais die geringste Ertragssteigerung zeigte, ist diese beim Winterweizen deutlich ausgeprägter. Ein Grund dafür könnte in einer verzögerten Mineralisation der Zwischenfruchtbiomasse liegen. Durch die verholzten Stängel des Senfes mit weitem C:N-Verhältnis kommt es zunächst zu einer N-Zehrung aus dem Bodenvorrat. Zu weite C:N-Verhältnisse im Boden oder der zugeführten

Ernterückstände resultieren in einer geringeren Effizienz der Bodenorganismen in der Verwertung der organischen Substanz. Bei N-Limitierung der mikrobiellen Gemeinschaft kommt es zur Konkurrenz zwischen Pflanzen und Mikroorganismen um schnell verfügbare N-Formen. Die Konsequenz ist eine temporäre N-Festlegung in der mikrobiellen Biomasse und ein Rückgang der N-Aufnahme durch die Pflanze. Beim Winterweizen zeigt sich dann, dass der Effekt der N-Sperre nach einer Senf-Zwischenfrucht nur temporär ist. Sobald die mikrobiellen Zersetzungsprozesse den Punkt der N-Limitierung überwunden haben, wird auch hier wieder N für das Pflanzenwachstum bereitgestellt. Die beiden Mischungen scheinen die Vorteile der enthaltenen Arten zu vereinen und zeigen damit die höchste Ertragssteigerung über beide Hauptkulturen hinweg. Um die Ertragseffekte der Zwischenfrüchte zeitlicher noch genauer aufzulösen, wurden im CATCHY-Projekt nicht nur die Erträge, sondern auch die einzelnen Ertragskomponenten wie zum Beispiel Ährendichte und Tausendkorngewicht untersucht. Dabei wird sichtbar, dass die Ertragskomponenten der Hauptfrucht von verschiedenen Zwischenfrüchten individuell beeinflusst werden.

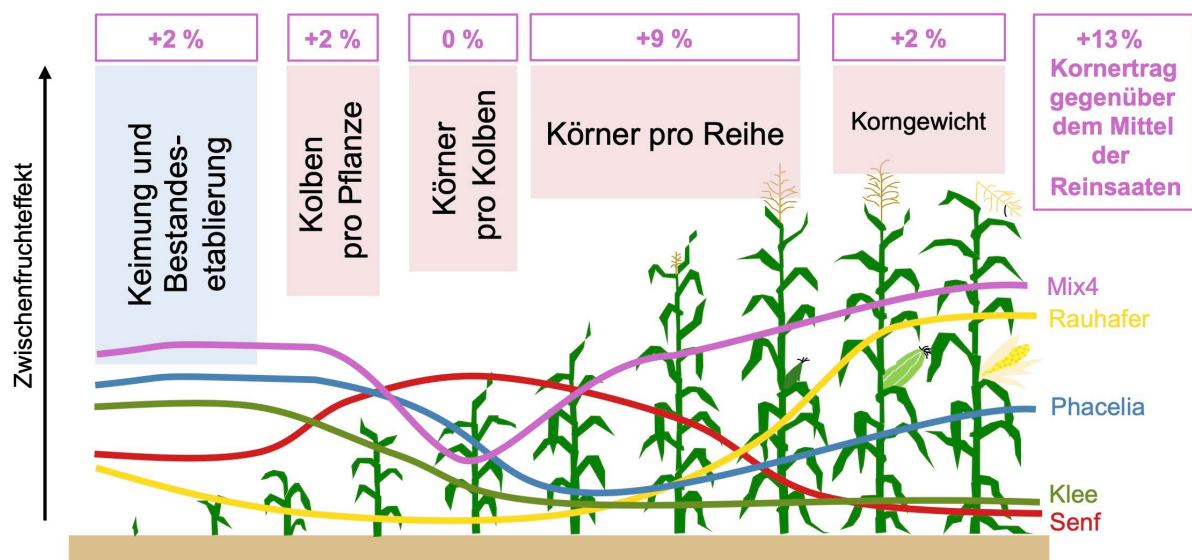


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf des Einflusses unterschiedlicher Zwischenfrüchte auf die Ertragsbildung von nachfolgend angebautem Silomais.

Gründe hierfür könnten neben unterschiedlichen Mineralisationsprofilen auch unterschiedliche Einflüsse auf die Bodenstruktur, den Wasserhaushalt oder die Abgabe biochemisch aktiver Substanzen sein. Werden die getesteten Arten in einer Zwischenfruchtmischung kombiniert, scheint es zu einer Überlagerung der ertragsbeeinflussenden Effekte zu kommen, die insgesamt zu einer besseren Leistung der Mischung führt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch den Anbau von Zwischenfrüchten viele Ertragsfaktoren der Folgekulturen beeinflusst werden, die jedoch oft nicht eindeutig erklärt werden können. Im Mittel waren die beobachteten Ertragseffekte des Zwischenfruchtanbaus eher gering, was aber auch bedeutet, dass die vielen anderen Vorteile des Zwischenfruchtanbaus ohne Ertragseinbußen genutzt werden können. Durch eine Optimierung des Zwischenfruchtanbaus sollten auch die Ertragseffekte gesteigert werden können. Eine wichtige Rolle scheint die Optimierung des Biomasseabbaus der

Zwischenfrüchte zu spielen, z.B. durch Beeinflussung des Verholzungsgrades und der C:N-Verhältnisse. Dies lässt sich durch ein betriebs- und standortspezifisches Anbaumanagement der Zwischenfrüchte erreichen.

WP1.2 Optimierung der Wirkung von Zwischenfruchtmischungen auf Hauptfrüchte

Die Kurzzeitversuche wurde wie in der zweiten Finanzierungsphase auch in der dritten Finanzierungsphase durchgeführt und um Saatstärkenversuche erweitert. Der Versuch umfasste insgesamt 40 Varianten in 4 Wiederholungen. In mitteleuropäischen Anbausystemen wurden Zwischenfrüchte überwiegend als Reinsaaten angebaut. Erst nach 2000 rückten vermehrt Zwischenfruchtmischungen aus mehreren Arten in den Fokus. Artenmischungen fanden aber erst durch die GAP 2013 mit der Einführung der ökologischen Vorrangflächen den Weg in die breite Praxis. Mit dem Anbau von Zwischenfrüchten werden neben agronomischen auch ökologische und gesellschaftliche Ziele verfolgt. Um die Funktionen von Zwischenfrüchten zu erweitern und deren Stabilität zu erhöhen, wird die Kombination von verschiedenen Arten in Zwischenfruchtmischungen vorgeschlagen und auch in der Praxis angewandt (Couédel et al. 2018; Chapagain et al. 2020).

Die Bandbreite der Artenvielfalt in den angebauten Zwischenfruchtmischungen reicht dabei von 2 Arten, womit gerade die damaligen „Greening“-Vorgaben erfüllt wurden bis zu mehr als 10 verschiedenen Arten, nach der Maxime „je diverser, desto besser“. Die Agrarpolitik förderte die Artenvielfalt in Zwischenfruchtmischungen durch Vorgaben, wie beispielsweise beim „Greening“ aber auch durch direkte Zahlungen für vielfältige Zwischenfruchtmischungen, wie es in einigen Länderprogrammen der Fall ist. Während die Vorteile des Zwischenfruchtanbaus allgemein in der wissenschaftlichen Literatur bereits gut dokumentiert sind, ist dies im Speziellen für den Anbau von diversen Artenmischungen bisher nicht eindeutig und klar dokumentiert (Florence und McGuire 2020).

Die Idee, dass Artenreichtum die Funktionen von Zwischenfrüchten verbessert, hat ihre Wurzeln in ökologischen Theorien. Diese besagen, dass sich Arten aufgrund ihrer unterschiedlichen Ansprüche an Wachstumsfaktoren wie Nährstoffe, Wasser, Licht und Wärme und ihrer unterschiedlichen Anpassungsfähigkeiten an die gegebenen Wachstumsfaktoren in Mischungen ergänzen und vorhandene Ressourcen besser ausnutzen als Reinsaaten (Cardinale et al. 2006).

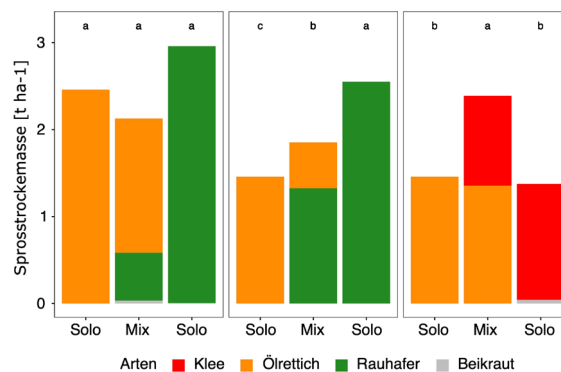
Die folglich erhöhte Nährstoffaufnahme verbessert demzufolge auch das Wachstum der Zwischenfrüchte. Durch die erhöhten Einträge von Nährstoffen und organischer Substanz in den Boden soll auch die Bodenbiologie stimuliert werden (Langeet al. 2015; Thakur et al. 2015; Zak, Holmes, White, Pea-cock und Tilman 2003). Da Pflanzenarten unterschiedliche Strategien entwickelt haben, um mit anderen Arten in Konkurrenz zu treten und gleichzeitig jede Art zumindest teilweise eine eigene Nische besetzt, soll auch die Unkrautunterdrückungsleistung von Zwischenfrüchten vom Artenreichtum profitieren (Akemo, Regnier und Bennett 2000; Altieri und Liebman 1986; Anilet al. 1998; Brust und Gerhards 2012; Buhler 2003). Unterschiedliche artspezifische Umweltsprüche sollen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass zumindest eine Art unter den vorherrschenden

Bedingungen etabliert werden kann (Bugg, Sarrantonio, Dutcher und Phatak 1991; Griffin et al. 2009; NRCS 2017). Die genannten positiven Effekte, die sich durch den Anbau von artenreichen Zwischenfruchtmischungen ergeben, müssten zusammengenommen nicht nur zu besseren Leistungen der Zwischenfrucht, sondern auch zu erhöhten Erträgen der Folgekultur führen.

Diese hohen Erwartungen an artenreiche Zwischenfruchtmischungen werden nach den Ergebnissen des CATCHY-Projekts und auch derer anderer Studien jedoch nicht eindeutig erfüllt (Florence und McGuire 2020; Lavergne et al. 2021; Elhakeem et al. 2021).

So konnte nur in wenigen Fällen ein statistisch absicherbarer Synergieeffekt bei Mischungen in den CATCHY-Versuchen festgestellt werden. Bei Mischungen aus Leguminosen und Nicht-Leguminosen trat der Effekt häufiger auf als bei Mischungen aus Nicht-Leguminosen. In einige Fällen brachte erst eine Optimierung der Mischungsverhältnisse eine verbesserte Biomasseleistung der Zwischenfruchtmischungen.

Abb. 4: Beispiele für Sprossstrockenmasseerträge von Reinsaaten verschiedener Arten und daraus kombinierter Zweiermischungen aus unterschiedlichen Jahren und Standorten. Die Kombination zweier Arten zu einer Zwischenfruchtmischung kann einen antagonistischen (links), einen additiven (Mitte) oder einen synergistischen (rechts) Effekt hervorrufen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede.



Dass die Erwartungen, die aus den ökologischen Theorien hervorgehen nicht realisiert werden, kann zunächst daran liegen, dass sich diese Theorien hauptsächlich auf natürlich gewachsene Ökosysteme stützen, die im Gegensatz zu Ackerbausystemen keine oder nur geringe Eingriffe durch den Menschen erfahren und damit einer natürlichen Sukzession unterliegen, während in ackerbaulichen Systemen in der Regel jährlich ein Wechsel der Kultur erfolgt und gleichzeitig durch Bodenbearbeitung, Düngung und Pflegemaßnahmen künstliche Eingriffe erfolgen. Nicht zuletzt ist auch die für das Wachstum von Zwischenfrüchten zur Verfügung stehende Zeit oft auf nur wenige Wochen begrenzt, was die Vergleichbarkeit mit Erkenntnissen aus der Ökologie schwierig macht. Beim Anbau von Zwischenfrüchten in intensiv genutzten Ackerbausystemen liegen im Gegensatz zu natürlichen Ökosystemen oft keine Nährstofflimitierungen vor, weil nach der Ernte der Hauptfrucht Nährstoffüberschüsse bestehen, ein hohes Mineralisationspotenzial der Böden vorliegt oder eine Düngung mit Wirtschaftsdüngern erfolgt. Häufig übersteigt diese Menge an Nährstoffen das Aufnahmevermögen der Zwischenfrüchte. Das Nährstoffaufnahmevermögen der Zwischenfrüchte kann zudem durch andere Faktoren wie geringe Wasserverfügbarkeit oder eine zu kurze Vegetationszeit beschränkt sein. Die Ergebnisse unserer Feldversuche zeigen, dass der Anbau von Zwischenfruchtmischungen in diesen Fällen weniger Vorteile bringt als unter limitierten Nährstoffbedingungen, wie sie in natürlichen Ökosystemen vorherrschen

würden. In der Praxis können limitierte Nährstoffangebote beispielsweise durch Einschränkungen im Düngerecht oder auf Grenzstandorten vorliegen.

Artenreiche Mischungen sind daher nicht *per se* besser als Reinsaaten für den Zwischenfruchtanbau geeignet. Auch wenn viele Vorteile von Zwischenfruchtmischungen nicht eindeutig bewiesen werden konnten, kann es dennoch sinnvolle Gründe geben, diese den Reinsaaten vorzuziehen. Zwischenfrüchte sollten immer dann als Mischung verschiedener Arten angebaut werden, wenn sie die geforderten Aufgaben besser erfüllen als eine bestimmte Art in Reinsaat und die Vorteile von Mischungen deren Nachteilen überwiegen. Damit dies gelingen kann gibt es aus pflanzenbaulicher Sicht einige Punkte zu beachten. Zunächst sind Arten unterschiedlich an Standorte angepasst und deshalb muss eine Zwischenfruchtmischung, die an einem Standort funktioniert, nicht zwingend auch an einem anderen Standort erfolgreich sein. Dazu kommt, dass Pflanzen, die in einer Gesellschaft wachsen, miteinander interagieren. Dem geeigneten Pflanzenbauer kommt dabei wahrscheinlich als erstes der Wettbewerb von Pflanzen um Nährstoffe, Licht und Wasser in den Sinn. In Beständen, die nur aus einer Kulturpflanzenart bestehen, ist diese Art von Interaktion relativ einfach zu kalkulieren, vorausgesetzt für jede Pflanze eines Bestandes wurden annähernd gleiche Bedingungen geschaffen. Über die Wahl der Aussaatstärke kann für jeden Standort eine Bestandesdichte etabliert werden, die das optimale Verhältnis zwischen Einzelpflanzenenertrag und Konkurrenz darstellt, und damit den Gesamtertrag eines Bestandes maximiert. In Zwischenfruchtmischungen stellt sich dies nicht so einfach dar, denn zum einen fehlen oft Informationen über die optimale Aussaatstärke einzelner Arten, die abhängig vom Standort und vom Aussaatzeitpunkt variiert. Zum anderen reagieren Pflanzen verschiedener Arten oft völlig anders aufeinander als Pflanzen derselben Art. Man spricht hierbei von interspezifischer Interaktion. Diese kann sich als Konkurrenz äußern, aber auch synergistischer Natur sein, wenn zum Beispiel Nährstoffe auf unterschiedliche Art und Weise aus dem Boden aufgenommen werden und sich somit die pflanzenverfügbare Nährstoffmenge erhöht oder Nährstoffe direkt zwischen den Pflanzen ausgetauscht werden.

WP1.3 Integration von Zwischenfrüchten in Bodenbearbeitungsstrategien

In Praxis schlägen der LLA wurden Versuche zur Aussaat von Zwischenfrüchten und zur Einarbeitung durchgeführt. In den 3 Jahren divergierten die Ergebnisse jedoch stark auf Grund der Witterungsbedingungen. Liefen die Zwischenfrüchte nach der Saat zügig auf, dann hatte die Bodenbearbeitungsintensität keinen signifikanten Einfluss auf die Etablierung des Zwischenfruchtbestandes und der Konkurrenz dessen auf die Segetalflora. Erfolgte die Etablierung der Bestände nach der Aussaat verzögert (wasserlimitierende Bedingungen), dann hatte die Minimalbodenbearbeitung deutliche höhere Anteile an Segetalflora im Aufwuchs im Vergleich zu den Pflugvarianten egal ob Reinsaaten oder Zwischenfruchtmischungen bestellt wurden. Zu den Nachteilen von Zwischenfruchtmischungen gehören neben den meist höheren Saatgutkosten, erhöhte Anforderungen an die Sätechnik aufgrund unterschiedlicher Samengrößen und auch erhöhte Anforderungen an das Management, beispielsweise aufgrund unterschiedlicher optimaler Saatzeitpunkte oder unterschiedlichem Abfrierverhaltens verschiedener Arten.

Bei der Einarbeitung von Zwischenfrüchten wurden Varianten wie Walzen, Schneidmesserwalze und Grubber verglichen. Bei intensivem Frost war die Abtötungsleistung nicht signifikant unterschiedlich. Bei leichtem Frost hatte die intensive Bearbeitung die bessere regulatorische Wirkung. In allen Varianten konnte aber zur Etablierung von Mais auf eine Totalherbizid-Applikation nicht verzichtet werden.

Aus den Erfahrungen des WP1.3 wurde ein Schema zur Etablierung von Zwischenfrüchten für die Praxis entwickelt, das im Folgenden dargestellt wird:

1. *Ziele festlegen*

Zu Beginn müssen Ziele definiert werden, die mit dem Zwischenfruchtanbau verfolgt werden sollen. In der Regel wird es sich dabei um mehrere Ziele handeln, weshalb auch eine Priorisierung der Aufgaben einer Zwischenfruchtmischung erfolgen sollte. Die Ziele sollten individuell an die auf dem jeweiligen Betrieb vorliegenden Bedingungen angepasst sein und sich beispielsweise nach der Wirtschaftsform, Fruchtfolgen, Vor- und Nachfrucht oder Bodenbearbeitungssystemen richten.

2. *Arten auswählen*

Im zweiten Schritt werden aus dem großen Pool der für den Zwischenfruchtanbau zur Verfügung stehenden Arten jene ausgewählt, die grundsätzlich für die angestrebte Zwischenfruchtmischung in Frage kommen. Neben der Artenwahl kann auch noch die Auswahl spezieller Sorten ins Auge gefasst werden. Die Auswahl in Frage kommender Arten wird oft schon durch den Anbau bestimmter Hauptkulturen in der Fruchtfolge stark eingegrenzt. Hier gilt es, darauf zu achten, dass die Vermehrungszyklen bestimmter Pathogene, wie zum Beispiel dem Erreger der Kohlhernie in Rapsfruchtfolgen, durch die Zwischenfrucht unterbrochen werden. Sicherlich spielen hierbei auch der Ausgangsbefall und die Anbaupausen der anfälligen Kulturen eine Rolle. Selbstverständlich ist bei der Auswahl der Arten auch darauf zu achten, dass diese unter den vorherrschenden Standortbedingungen in der Lage sind, die angestrebten Ziele zu erreichen. Das bedeutet, dass die in Frage kommenden Arten die geforderten Aufgaben wie zum Beispiel Nährstoffkonservierung, Nematodenbekämpfung, Stickstoff-Fixierung, Futterreinigung oder die Stabilisierung der Bodenstruktur erfüllen können müssen. Neben diesen speziellen Aufgaben müssen auch allgemeine ackerbauliche Anforderungen grundsätzlich durch die in der angestrebten Mischung enthaltenen Arten erfüllt werden können. Dazu gehört neben einer schnellen und ausreichenden Bodenbedeckung, um Erosion vorzubeugen und Schattengare zu fördern, eine sichere und ausreichende Unterdrückung von Unkräutern, Ungräsern aber auch Ausfallpflanzen, um die ungewollte Vermehrung von Pathogenen zu vermeiden. Nicht jede der ausgewählten Arten muss alle Ziele erfüllen können, aber jede Aufgabe muss zumindest durch eine der in der angestrebten Mischung enthaltenen Arten erfüllt werden können. Bereits bei der Auswahl der in Frage kommender Arten sollten auch die Ansprüche der folgenden Hauptkultur berücksichtigt werden. Die Gewährleistung einer sicheren Abtötung des Zwischenfruchtbestandes sollte berücksichtigt werden, um die Konkurrenz durch eine „durchgewachsene“ Zwischenfrucht zu verhindern. Ebenso sollte darauf geachtet werden,

dass die Herstellung eines geeigneten Saatbettes für die Folgekultur nicht durch die Zwischenfrucht behindert wird, wie es beispielsweise beim Verbleib von sehr hohen Mengen an Zwischenfruchtrückständen der Fall sein kann. Nicht abgefrorene Sprossmasse oder ein dichter Wurzelfilz in Kombination mit engen Zeitfenstern für die Saatbettbereitung können hier Probleme bereiten. Nicht zuletzt ist vor allem in Trockengebieten bereits bei der Auswahl der Arten darauf zu achten, dass es nicht zu einer Wasserkonkurrenz mit der Hauptfrucht kommt. Alle ausgewählten Arten müssen grundsätzlich mit den Bedingungen des Standortes und auch der möglichen Variabilität der Witterungsbedingungen zurechtkommen, die zum Zeitpunkt der geplanten Aussaat vorherrschen können. Dabei gilt es auch zu beachten, dass sich Arten wie beispielsweise Gelbsenf ausschließlich für eine Spätsaat eignen, während beispielsweise einige Leguminosen nur für frühere Aussaattermine geeignet sind. Aus ökonomischer Sicht muss schließlich auch die Kosten-Nutzen-Relation für das Saatgut der gewählten Arten passen.

3. *Arten kombinieren*

Bei diesem Schritt geht es darum, Arten aus der zuvor erstellten Auswahl in Mischungen so zusammenzustellen, dass die Ziele und deren Priorisierung bestmöglich eingehalten werden können. Hierbei gibt es Hilfestellungen, an denen man sich orientieren kann, aber auch einige kritische Punkte, die auf jeden Fall beachtet werden sollten. Eine gelungene Kombination von Arten in einer Mischung ergibt sich, wenn die Interaktion, die zu negativen Effekten führt, vermieden wird und Interaktion, die zu positiven Effekten führt, ermöglicht wird. Dies gilt sowohl für den oberirdischen Aufwuchs, wie auch für das Wurzelsystem einer Zwischenfrucht. Negative Interaktion wird zum Beispiel sichtbar, wenn das Konkurrenzverhalten innerhalb einer oder zwischen verschiedenen Arten dazu führt, dass die generative Entwicklung der Pflanzen beschleunigt wird. Dies hat zur Folge, dass nur wenig vegetative Sprossmasse gebildet wird, diese schnell verholzt und das Wurzelwachstum früh eingestellt wird. Positive Interaktion entsteht, wenn Arten durch die Konkurrenz beispielsweise auf unterschiedliche Ressourcenquellen zurückgreifen. In Mischungen wird eine Leguminose zum Beispiel durch die Konkurrenz einer Nichtleguminose um den Nährstoff Stickstoff dazu gezwungen, Stickstoff mit Hilfe der Knöllchenbakterien aus der Luft zu fixieren. Oder bestimmte Pflanzen wie Buchweizen mobilisieren den Nährstoff Phosphor, wenn die gelöste Form durch andere Pflanzen in Anspruch genommen wird. Um die Wahrscheinlichkeit von negativen Interaktionen zu verringern und die von positiven Interaktionen zu erhöhen, sollte darauf geachtet werden, dass möglichst unterschiedliche Arten in einer Mischung kombiniert werden. Dies kann beispielsweise erreicht werden, indem Mischungspartner aus verschiedenen Pflanzenfamilien eingesetzt werden (z.B. Kreuzblütler, Gräser, Korbblütler oder Schmetterlingsblütler). Zudem sollte sich die Kombination von Arten mit verschiedenen Wuchsformen positiv auf die Gesamtbiomasse der Mischung auswirken. Im Bereich der Wurzel können das tief-, flach-, fein-, und grobwurzelnde Arten sein, die ein Pfahl- oder ein Büschelwurzelsystem ausbilden. Im Sprossbereich lassen sich Arten kombinieren, die verschiedene Etagen eines Bestandes in Anspruch nehmen oder stützende und rankende Wuchsformen mit sich bringen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die damit

geschaffene Raumteilung über alle Phasen des Wachstums annähernd gleichmäßig verteilt bleibt, um eine Spätverunkrautung zu vermeiden, wenn bestimmte Räume im Bestand frei werden. Alle Arten, die zu einer Mischung kombiniert werden, sollten ähnliche Ansprüche an den Aussaatzeitpunkt haben, aber in dieser Hinsicht auch eine gewisse Flexibilität mit sich bringen, da nicht genau vorherzusehen ist, wie wüchsig die Bedingungen während der Wachstumsperiode tatsächlich sind. Die auf einem Betrieb vorhandene Sätechnik bestimmt ebenfalls mit, welche Arten kombiniert werden können. So sollte eine Entmischung im Saatgutbehälter verhindert werden und auch die Ansprüche auf verschiedene Ablagetiefen bei der Saat beachtet werden.

4. *Samenanteile bestimmen*

Nachdem die Arten ausgewählt und kombiniert wurden, stellt sich die Frage nach dem optimalen Verhältnis der Arten innerhalb der Mischung. Um die Zusammensetzung der Saatgutmischung festzulegen, wird oft nach dem Prinzip vorgegangen, die übliche Aussaatstärke der jeweiligen Art durch die Anzahl der enthaltenen Mischungspartner zu teilen. Mit dieser Methode werden jedoch selten die optimalen Mischungsverhältnisse erreicht und es kommt dabei oft dazu, dass konkurrenzstarke Arten die Mischung dominieren, während konkurrenzschwache Arten nicht zur Geltung kommen. Um dies zu verhindern, sollte das Konkurrenzvermögen der jeweiligen Arten berücksichtigt werden. Kreuziferen besitzen zum Beispiel ein hohes Konkurrenzvermögen, während Leguminosen ein geringes Konkurrenzvermögen aufweisen. Das Konkurrenzvermögen ist dabei auch von den Umweltbedingungen abhängig, so ist es leicht vorstellbar, dass sich das Konkurrenzvermögen von Leguminosen unter stickstofflimitierten Bedingungen deutlich erhöht. Auch die artspezifische Elastizität der Bestandesdichte-Biomasse-Beziehung muss berücksichtigt werden: Eine Halbierung der Saatstärke führt nicht zwingend zu einer Halbierung der Biomasse. Grundsätzlich sollten Arten, die auch als Reinsaat gut funktionieren, als Hauptbestandbildner eingesetzt werden. Arten, die als Reinsaaten weniger erfolgreich sind, wie zum Beispiel Leguminosen, sollten jedoch als Unterstützung der Hauptbestandbildner nicht unterschätzt werden. Die Priorisierung der speziellen Ziele, die mit der Zwischenfruchtmischung verfolgt werden, spielen bei den Artenverhältnissen in der Mischung ebenfalls eine wichtige Rolle. Wird zum Beispiel die Stickstofffixierung höher priorisiert als die Aufnahme von im Boden gelöstem Stickstoff sollte der Leguminosenanteil in der Mischung erhöht werden. Dies sollte jedoch nur so weit erfolgen, dass dabei die Einhaltung der allgemeinen ackerbaulichen Anforderungen nicht beeinträchtigt wird. Die Festlegung der Gesamtaussaatstärke kann grob am Mittelwert der üblichen Aussaatstärke der beteiligten Arten orientiert werden. Aufgrund der potenziellen Ressourcenkomplementarität und Nischendifferenzierung ist jedoch davon auszugehen, dass sich eine Erhöhung der Gesamtaussaatstärke positiv auswirkt. Um den Zwischenfruchtanbau wirtschaftlich zu gestalten, spielen schließlich auch bei der Mischungszusammensetzung die Saatgutkosten eine wichtige Rolle.

5. *Zwischenfruchtmischung im Feld beobachten und bewerten*

Nachdem die Zwischenfruchtmischung erstellt und ausgesät wurde, gilt es den heranwachsenden Bestand im Feld zu beobachten und zu bewerten, ob die Ziele in der gewünschten Priorisierung erreicht wurden. Gegebenenfalls sind Änderungen an der Mischung vorzunehmen, um den Anbau im nächsten Jahr weiter zu optimieren.



Abb. 5: Schematische Vorgehensweise für die Erstellung von Zwischenfruchtmischungen.

WP1.4: Abschluss des ¹⁵N-Markierungs-Versuch aus der zweiten Phase in Triesdorf

Die Arbeiten in WP1.4 wurden, wie in der zweiten Finanzierungsphase geplant und in der dritten Finanzierungsphase beantragt weitergeführt und beendet. Die Bonituren, Proben und Daten wurden von den Projektpartnern IPK Gatersleben und Leibniz-Universität Hannover analysiert und ausgewertet.

SP 5: Sozio-Ökonomie

WP 5.1: Ökonomische Bewertung des Zwischenfruchtanbaus

Im Rahmen der ökonomischen Bewertung des Zwischenfruchtanbaus wurden fünf typische landwirtschaftliche Betriebe in Unterfranken, Mittelfranken und der Oberpfalz in Zusammenarbeit mit agri benchmark etabliert und analysiert. Die Betriebe repräsentieren unterschiedliche regionale und betriebliche Strukturen.

Die Wirtschaftlichkeit wurde anhand der Direkt- und Arbeiterledigungskostenfreien Leistung (DakfL) für vier Anbaustufen bewertet: (1) gesetzliches Minimum (GAP23/DüV), (2) maximal pflanzenbaulich möglicher Anbau, (3) maximaler Anbau mit Carbon-Farming-Initiativen und (4) maximaler Anbau inklusive Nutzung der oberirdischen Biomasse. Die Berechnungen berücksichtigten positive Faktoren wie Ertragssteigerungen bei der Folgekultur, Stickstofflieferungen, Kohlenstoffsequestrierung und Erlöse aus der Biomasse sowie negative Faktoren wie erhöhter Nährstoffbedarf, Saatgutkosten und Kosten der zusätzlichen Arbeitsgänge.

- + Ertragssteigerung Folgekultur
 - + N-Lieferung (Vermeidung Auswaschung + N-Fixierung durch Leguminosen)
 - + Kohlenstoffsequestrierung (Carbon Farming)
-
- Nährstoffbedarf für Mehrertrag
 - Saatgutkosten
 - Zusätzlicher chemischer Pflanzenschutz (ggfs. Abtötung ZF und Mehraufwand in Folgekultur)
 - Arbeiterledigungskosten (Lohn-, Maschinen- und Betriebsstoffkosten für Etablierung und Einarbeitung)
-
- = Änderung der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung**

Abb. 6: Struktur zu Wirtschaftliche Bewertung des Zwischenfruchtanbaus

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits das gesetzliche Minimum an Zwischenfruchtanbau ökonomisch vorteilhaft ist. Eine Ausweitung auf die maximale Fläche bringt zusätzliche wirtschaftliche Vorteile, vor allem durch Ertragssteigerungen bei der Folgekultur und erhebliche Einsparungen bei Düngemitteln, insbesondere bei den derzeit hohen Preisen. Die Teilnahme an privatwirtschaftlichen Carbon-Farming-Initiativen bietet zusätzliche rentable Einkommensmöglichkeiten, ist jedoch durch die Vorgabe der „Zusätzlichkeit“ auf Flächen begrenzt, die über gesetzliche Vorgaben hinausgehen.

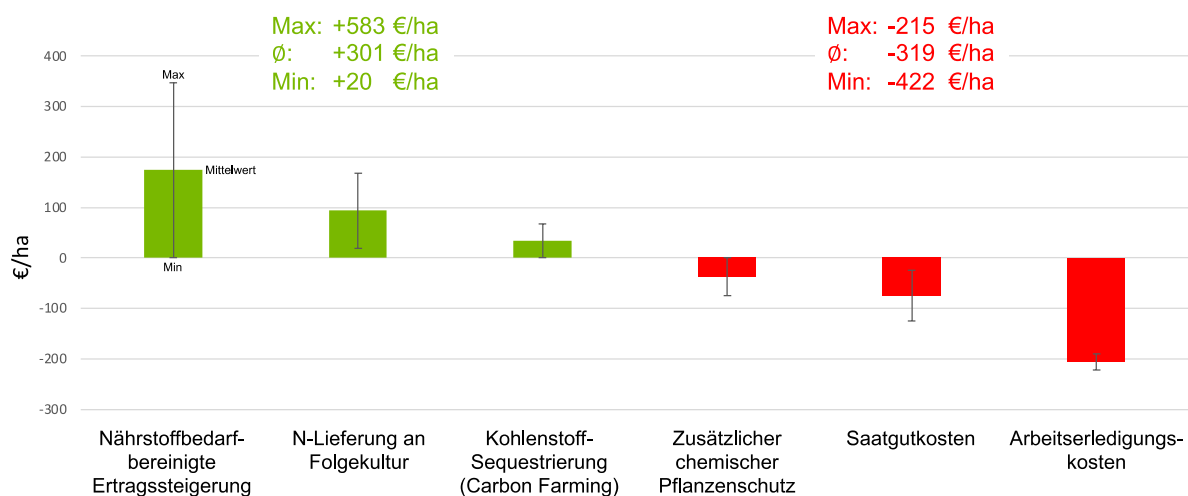


Abb. 7: Wirtschaftlichkeit Zwischenfrucht vor Silomais - Typischer Betrieb Mittelfranken

Zusätzlich wurde die Berechnungsmethode für die ökonomische Bewertung verfeinert, auf einer Fachkonferenz der Saaten Union vorgestellt und in einem Artikel in der Fachzeitschrift Top Agrar veröffentlicht.

WP 5.2: Bewertung freiwilliger CO₂-Kompensationsmaßnahmen („Carbon Farming“)

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden mehrere Expertengespräche, Fachveranstaltungen und intensive Analysen bestehender Carbon-Farming-Initiativen durchgeführt. Zentrale

Erkenntnisse beziehen sich auf die Anforderungen der international anerkannten Zertifizierungsmethoden von Verra VCS und Gold Standard. Entscheidend für die Glaubwürdigkeit solcher Maßnahmen sind Permanenz (dauerhafte Speicherung des Kohlenstoffs im Boden), Zusätzlichkeit (Implementation zusätzlicher, bisher nicht praktizierter Maßnahmen), die Vermeidung von Leakage-Effekten (Verschiebung von Emissionen oder Sequestrierungsverlusten auf andere Flächen) sowie das Verhindern von Doppelzählungen mittels zentraler Registrierungsdatenbanken.

Insbesondere wurde festgestellt, dass die Kriterien der Zusätzlichkeit und Permanenz besonders anspruchsvoll in der Umsetzung sind. Eine Voraussetzung ist, dass weniger als 20 % der Betriebe in einer Region die gleichen Maßnahmen bereits umsetzen, was den Handlungsspielraum deutlich einschränkt.

Zur Kommunikation dieser komplexen Themen wurden zwei Fachartikel veröffentlicht: „Zwischen Chancen und Kritik“ in der Zeitschrift „DLG-Mitteilungen“ sowie „Ist Carbon Farming tot?“ in der Zeitschrift „Top Agrar“. Dabei wurde auf Chancen, Herausforderungen sowie die agrarpolitischen und regulatorischen Rahmenbedingungen eingegangen.

WP 5.3: Gesellschaftliche Akzeptanz des Zwischenfruchtanbaus

Durch umfangreiche Literaturrecherchen wurden zentrale gesellschaftliche Vorteile des Zwischenfruchtanbaus identifiziert: Verbesserung des Bodenschutzes, Reduktion der Stickstoffauswaschung, Kohlenstoffbindung sowie Förderung der Artenvielfalt und der Insektenpopulationen. Zur Messung der gesellschaftlichen Akzeptanz dieser Vorteile wurde ein Choice-Experiment mit 1.105 Teilnehmenden durchgeführt.

Die Umfragen untersuchten die Präferenzen von Konsumenten anhand eines typischen Lebensmittels (Brot) hinsichtlich der Herkunft, Wirtschaftsweise, konkreter Umweltschutzmaßnahmen und Preisgestaltung. Die Umweltschutzmaßnahmen entsprechen den aus der Literaturrecherche identifizierten Vorteilen des Zwischenfruchtanbaus. Die Ergebnisse zeigten eindeutig, dass der Preis das entscheidende Kaufkriterium ist, gefolgt von regionaler Herkunft und ökologischer Wirtschaftsweise. Die Vorteile des Zwischenfruchtanbaus fanden positive, jedoch nachrangige Zustimmung.

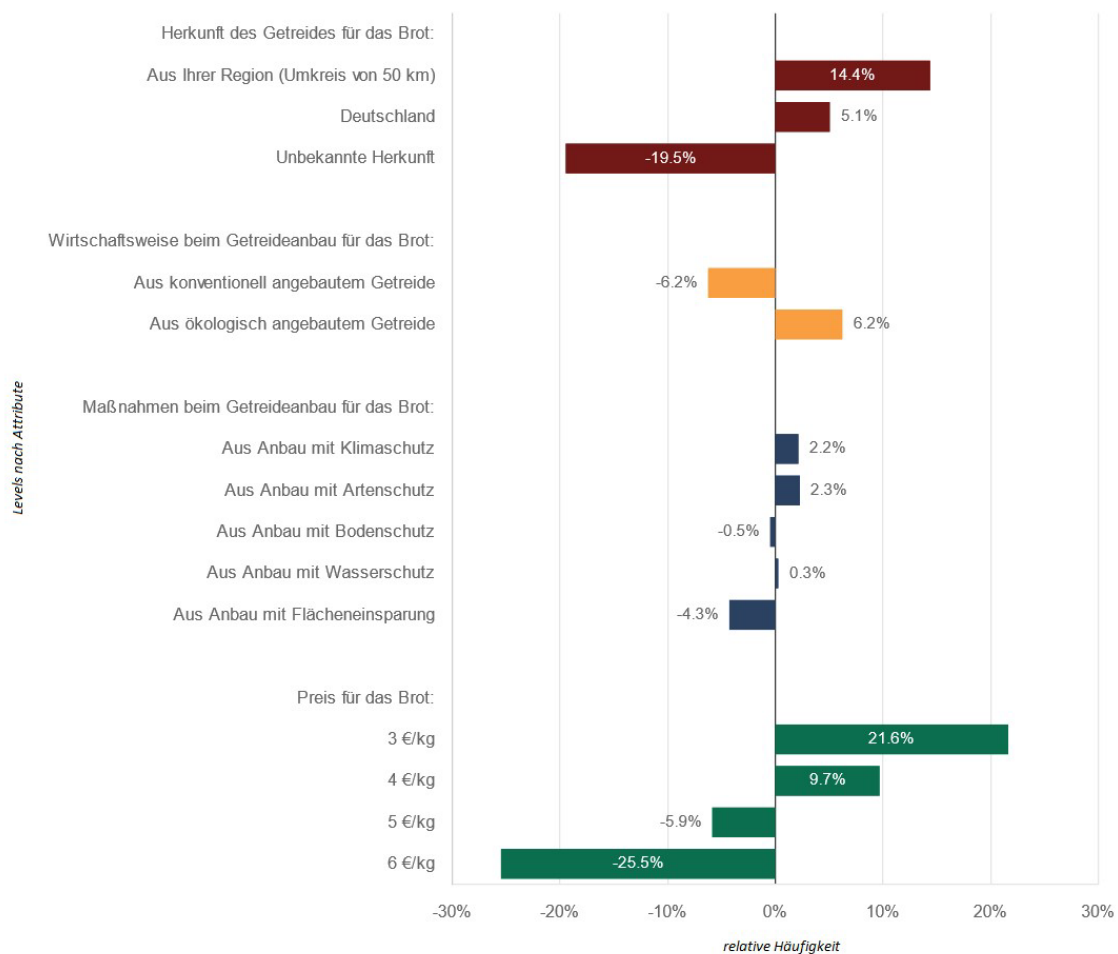


Abb. 8: Präferenzen nach Levels

Die Umfragen zeigten außerdem, dass zwar rund 40 % der Teilnehmer den Begriff „Zwischenfrucht“ korrekt einordnen konnten, aber nur 12,2 % die Zwischenfrüchte tatsächlich auf dem Feld erkannten.

Die Ergebnisse legen nahe, dass gezielte Informations- und Öffentlichkeitsarbeit die gesellschaftliche Akzeptanz des Zwischenfruchtanbaus verbessern könnte. Wenn über die gesellschaftlichen Vorteile des Zwischenfruchtanbaus kommuniziert wird, sollte ein besonderer Fokus auf die Vorteile im Bereich Klima- und Artenschutz gelegt werden.

Die Ergebnisse der Befragung und Handlungsempfehlungen für die Kommunikation wurden in einem Artikel zusammengefasst, der in „Berichte über Landwirtschaft“ eingereicht wird.

Zusätzliche Aktivitäten: Klimawirkung des Zwischenfruchtanbaus

In Zusammenarbeit mit der Universität Hannover wurde eine umfassende Bewertung der Klimawirkung des Zwischenfruchtanbaus durchgeführt. Berücksichtigt wurden positive Faktoren wie Ertragssteigerungen, Düngereinsparungen und Kohlenstoffsequestrierung, sowie negative Effekte durch Flächenverbrauch für Saatgutproduktion, Emissionen bei Saatgutverarbeitung und -transport sowie zusätzlichen Treibstoffverbrauch.

	EU-27 average per hectare (ha)				EU-27 total			
	Unit	Mean	Low (-95% confidence level)	High (+95% confidence level)	Unit	Mean	Low (-95% confidence level)	High (+95% confidence level)
Area					1,000 ha	15,092.14	14,785.60	15,398.67
Average yield	Mg ha ⁻¹	7.88	7.46	8.31				
Relative yield gain	%	8.8%	2.9%	14.8%				
Absolute yield gain	Mg ha ⁻¹	0.70	0.21	1.23				
Carbon opportunity cost maize	kg CO ₂ e kg ⁻¹	2.10	2.10	2.10				
Carbon land benefit based on maize yield gain	Mg CO₂e ha⁻¹	1.46	0.45	2.59	1,000 Mg CO₂e	22,086.83	6,631.87	39,805.69
Carbon sequestration	Mg CO₂ ha⁻¹	1.43	0.86	2.01	1,000 Mg CO₂	21,632.51	12,701.51	30,915.61
Nitrogen fixation	kg N ha ⁻¹	52.49	32.06	72.92				
Reduced nitrogen leaching	kg N ha ⁻¹	38.82	19.13	58.51				
Total nitrogen fertilizer savings	kg N ha ⁻¹	91.32	51.19	131.44				
Nitrogen fertilizer emissions	kg CO ₂ e kg N ⁻¹	11.23	9.02	13.43				
Carbon benefit based on nitrogen fertilizer savings	Mg CO₂e ha⁻¹	1.03	0.46	1.77	1,000 Mg CO₂e	15,474.08	6,830.39	27,187.04
Reduced N₂O emissions due to less leaching	Mg CO₂e ha⁻¹	0.10	-0.15	0.35	1,000 Mg CO₂e	1,495.60	-2,218.43	5,362.37
Albedo change	Mg CO₂e ha⁻¹	0.20	-0.37	0.78	1,000 Mg CO₂e	3,087.10	-5,514.25	12,042.49
Total climate benefit	Mg CO₂e ha⁻¹	4.22	1.25	7.49	1,000 Mg CO₂e	63,776.11	18,431.09	115,313.18
N₂O emissions	Mg CO₂e ha⁻¹	0.04	-0.02	0.09	1,000 Mg CO₂e	555.77	-306.57	1,453.41
Foregone benefits due to cover crop seed land use	Mg CO₂e ha⁻¹	0.28	0.27	0.29	1,000 Mg CO₂e	4,180.56	3,970.76	4,395.55
Production emissions cover crop seed	Mg CO₂e ha⁻¹	0.39	0.08	0.70	1,000 Mg CO₂e	5,920.55	1,194.38	10,837.69
Processing, packaging, and transport of cover crop seed	Mg CO₂e ha⁻¹	0.08	0.08	0.08	1,000 Mg CO₂e	1,182.71	1,158.69	1,206.74
Additional machinery operations	l Diesel ha ⁻¹	45.29	32.44	58.13				
Diesel emissions	kg CO ₂ l ⁻¹	3.13	3.13	3.13				
Additional machinery operations	Mg CO₂ ha⁻¹	0.14	0.10	0.18	1,000 Mg CO₂e	2,140.93	1,502.51	2,804.02
Total climate cost	Mg CO₂e ha⁻¹	0.93	0.51	1.34	1,000 Mg CO₂e	13,980.53	7,519.77	20,697.40
Net climate change mitigation impact of cover crops	Mg CO₂e ha⁻¹	3.30	0.74	6.14	1,000 Mg CO₂e	49,795.58	10,911.32	94,615.78
Share of EU-27 agriculture emissions in 2020						13.0%	2.9%	24.7%

Abb. 9: Bewertung der Klimawirkung des Zwischenfruchtanbaus

Die finale Berechnung ergab eine durchschnittliche Treibhausgas-Einsparung von 3,30 t CO₂e/ha. Hochgerechnet auf die EU würde der flächendeckende Einsatz von Zwischenfrüchten vor Maisanbau rund 13,0 % der gesamten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen einsparen. Diese Ergebnisse wurden in einem wissenschaftlichen Artikel aufbereitet und zur im Journal „PLOS ONE“ veröffentlicht.

Literaturverweise

- Adeux, G. et al. Long-term cover cropping in tillage-based systems filters weed community phenology: A seedbank analysis. *Field Crops Research* 291, 108769 (2023).
- Arora, N. K. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability* 2, 95-96 (2019).
- Blanco-Canqui, H. et al. Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. *Agronomy Journal* 107, 2449-2474 (2015).
- Blanco-Canqui, H. & Ruis, S. J. Cover crop impacts on soil physical properties: A review. *Soil Science Soc of Amer J* 84, 1527-1576 (2020).
- Chahal, I., Vyn, R. J., Mayers, D. & Van Eerd, L. L. Cumulative impact of cover crops on soil carbon sequestration and profitability in a temperate humid climate. *Sci Rep* 10, 13381 (2020).
- Damien, M. et al. Flowering cover crops in winter increase pest control but not trophic link diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 247, 418-425 (2017).
- Fernando, M. & Shrestha, A. The Potential of Cover Crops for Weed Management: A Sole Tool or Component of an Integrated Weed Management System? *Plants* 12, 752 (2023).
- Javed, M. A. et al. The clubroot pathogen *Plasmodiophora brassicae* : A profile update. *Molecular Plant Pathology* 24, 89-106 (2023).
- Garba, I. I., Bell, L. W. & Williams, A. Cover crop legacy impacts on soil water and nitrogen dynamics, and on subsequent crop yields in drylands: a meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 42, 34 (2022).
- Kaul, Sanjana; Choudhary, Malvi; Gupta, Suruchi; Dhar, Manoj K. (2021): Engineering Host Microbiome for Crop Improvement and Sustainable Agriculture. In: *Frontiers in Microbiology* 12. Online verfügbar unter <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.635917>.
- Kaye, J. P. & Quemada, M. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 4 (2017).
- Koudahe, K., Allen, S. C. & Djaman, K. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research* 10, 343-354 (2022).
- Oldfield, E. E., Bradford, M. A. & Wood, S. A. Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *SOIL* 5, 15-32 (2019).
- Poeplau, C. & Don, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 33-41 (2015)
- Praveen, B. & Sharma, P. A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity. *Journal of Public Affairs* 19, e1960 (2019).
- Scavo A, Fontanazza S, Restuccia A, Pesce GR, Abbate C, Mauromicale G (2022) The role of cover crops in improving soil fertility and plant nutritional status in temperate climates. A review. *Agron Sustain Dev* 42:93. (2022).
- Schumacher, M. & Gerhards, R. Facilitation of weed seed predation by living mulch and cover crops. *Weed Research* 62, 328-339 (2022).
- Wang, Q., Li, Y., Handoo, Z. & Klassen, W. Influence of cover crops on populations of soil nematodes. *Nematropica* 79- 92 (2007).
- Wang, Jun; Zhang, Shaohong; Sainju, Upendra M.; Ghimire, Rajan; Zhao, Fazhu (2021): A meta-analysis on cover crop impact on soil water storage, succeeding crop yield, and water-use efficiency. In: *Agricultural Water Management* 256, S. 107085. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107085.