

Endbericht EIP-Projekt PhosVer

Verbesserte Beurteilung der
Nährstoffversorgung für
biologisch wirtschaftende Betriebe
am Beispiel Phosphor

(Projektlaufzeit: Mai 2022 – Mai 2025)

Antragsnummern: 16.1.1-S2-48/21 und 16.2.1-S2-48/21
Förderungswerber: PHOSVER
(Vertretungsbefugter: BIO AUSTRIA NÖ und Wien)

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Klima- und Umweltschutz,
Regionen und Wasserwirtschaft


LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Inhaltsverzeichnis

1	Arbeitspaket 1 – Projektmanagement.....	3
1.1.	Meilensteine und Deliverables	3
1.2.	Evaluierung der Projektziele.....	4
2	Arbeitspaket 2 – Etablierung und Betrieb OG	7
2.1.	Workshops - Veranstaltungen	7
2.2.	Wissenstransfer und Vernetzung	8
2.1.1.	Feldtage und Exkursionen auf den Versuchen der OG	8
2.1.2.	Veröffentlichungen der OG	8
3.	Arbeitspaket 3 – On-Farm Analyse.....	10
3.1.	Praxisversuche in NÖ	11
3.2.	Praxisversuche in OÖ	19
3.2.	Zusammenfassung und Fazit der Praxisversuche	27
3.3.	Handlungsempfehlungen für die Praxis.....	31
4.	Arbeitspaket 4 – Monitoring Langzeiteffekte	32
4.1.	Versuchskonzept und Ziele	32
4.2.	Ergebnisse	35
4.3.	Fazit und Empfehlungen	44
5.	Literaturverzeichnis	46
6.	Abbildungsverzeichnis.....	46
7.	Tabellenverzeichnis.....	46

Autor*innen: DI Andreas Surböck
Dr. Gabriele Gollner
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Agrarwissenschaften
Institut für Ökologischen Landbau
Gregor Mendel Straße 33
1180 Wien

1 Arbeitspaket 1 – Projektmanagement

1.1. Meilensteine und Deliverables

Im Zeitraum Mai 2022 – Mai 2025 wurden Tätigkeiten zur Koordination des Projektes sowie Verwaltungstätigkeiten durchgeführt, die für den ordnungsgemäßen Ablauf des Projektes notwendig waren:

- Erstellen von 3 Projektabrechnungen (6 Zahlungsanträge)
- Erstellen von 6 Zwischenberichten und 1 Endbericht (vorliegend)
- Erstellen eines Werkzeuges zur Einschätzung der P-Mobilisierung und P-Verfügbarkeit

In der **Tabelle 1** werden die erreichten Meilensteine während der gesamten Projektlaufzeit dargestellt.

Tabelle 1: Meilensteine und Deliverables

Meilenstein	Deliverables	Erreicht / Datum
1	Workshop 1 - operationelle Gruppe	06/2022
2	Treffen 1 - mit externen Partnern	06-10/2022
3	Versuchsperiode 1 (Zwischenfrüchte) – on-Farm	10/2022
4	Versuchsperiode 1 – Langzeitversuch	11/2022
D1	1. Zwischenbericht	11/2022
D2	2. Zwischenbericht	05/2023
5	Workshop 2 - operationelle Gruppe	05/2023
6	Versuchsperiode 2 (Wintergetreide, Zwischenfrüchte) - on-farm	12/2023
7	Versuchsperiode 2 - Langzeitversuch (Winterweizen, Zwischenfrucht)	12/2023
D3	3. Zwischenbericht	02/2024
8	Workshop 3 - operationelle Gruppe	entfallen
D4	4. Zwischenbericht	10/2024
9	Versuchsperiode 3 (Mais) - on-farm	11/2024
10	Versuchsperiode 3 – Langzeitversuch (Mais)	11/2024
D5	5. Zwischenbericht	03/2025
11	Workshop 4 - operationelle Gruppe	05/2025
D6	6. Zwischenbericht und Endbericht	05/2025
12	Treffen 2 – mit externen Partnern	03/2025

1.2. Evaluierung der Projektziele

In Tabelle 2 sind die im Formblatt F2 Aktionsplan angeführten Ziele angeführt. Alle Ziele wurden in der Projektlaufzeit erreicht.

Tabelle 2: Hauptziele im Projekt PhosVer

Ziel	Bezeichnung	Erreicht
Ziel 1	Erarbeitung eines Werkzeuges für die Praxis, das LandwirtInnen ermächtigt, die P-Versorgung ihrer Schläge mittels Analysedaten und betriebseigener Daten besser einzuschätzen zu können.	✓
Ziel 2	Ergebnisse verschiedener Managementstrategien (P-mobilisierende Zwischenfrüchte, Recyclingdünger, Betriebsmittel) zur Mobilisierung von Nährstoffen mit dem Hauptaugenmerk auf Phosphor werden den PraktikerInnen zur Verfügung gestellt und liefern eine Entscheidungshilfe für die zukünftige Bewirtschaftung.	✓
Ziel 3	Verbesserte Abschätzung der P-Düngewirksamkeit verschiedener organischer Dünger und der P- und K-Mobilisierung aus stabilen Pools anhand der Ergebnisse eines Langzeitversuchs. Diese Erkenntnisse helfen Praxisbetrieben bei der Einschätzung ihrer Nährstoffstrategien und der Auswirkungen einer längerfristigen biologischen Bewirtschaftung	✓
Ziel 4	Informationen für LandwirtInnen zum Nährstoff Phosphor und seinem Management: bessere Beurteilung des aktuellen Phosphor-Versorgungsstatus der Schläge; Kenntnisse, welche Maßnahmen am Betrieb zur P-Mobilisierung beitragen; Entscheidungsbasis für Bewirtschaftungsmaßnahmen, um die eigene Phosphorversorgung schlagspezifisch zu verbessern.	✓

Zusammenfassende Beschreibung der Zielerreichung:

Im Rahmen des Projektes PhosVer wurde das Ziel verfolgt, Landwirt:innen bei der Optimierung ihrer Phosphor-Versorgung bzw. Einschätzung der Phosphor-Mobilisierung zu unterstützen. Dazu wurden auf 7 verschiedenen Standorten (3 Standorte in Oberösterreich, 4 Standorte in Niederösterreich) Praxisversuche zur Überprüfung von Managementstrategien, wie der Nutzung P-mobilisierender Zwischenfrüchte sowie Phosphor-Recyclingdünger und Präparate zur P-Mobilisierung im Boden (Bakterienpräparate, Kalkdünger, Nährstoffe/Kieselsäure), durchgeführt und deren Ergebnisse zur Verfügung gestellt, um als Entscheidungshilfe für die zukünftige Bewirtschaftung zu dienen. Weiters wurde die Düngewirksamkeit organischer Dünger (Gründüngung, Biotonnenkompost, Stallmist, Biogasgärrest) sowie die Mobilisierung von Phosphor und Kalium aus stabilen Pools auf Basis eines seit dem Jahr 2003 bestehenden Langzeitversuches in Niederösterreich untersucht und die Ergebnisse zur Verfügung gestellt, um Betrieben eine fundierte Einschätzung ihrer Nährstoffstrategien zu ermöglichen. Um die Phosphor-Versorgung der Schläge in der Praxis anhand von Analysedaten und betriebseigenen Informationen besser einzuschätzen zu können, wurde ein praxisnahes Werkzeug entwickelt, das diese Einschätzung ermöglicht. Durch das Projekt PhosVer wurde den Landwirt:innen umfassende Informationen zum Phosphor-Management, einschließlich der Beurteilung des aktuellen Versorgungsstatus auf ihrem Betrieb, geeignete Maßnahmen zur P-Mobilisierung sowie eine Entscheidungsgrundlage für schlagspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verfügung gestellt.

Output und Mehrwert für die Praxis:

Das Projekt PhosVer lieferte wichtige Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis, um die Phosphor-Versorgung am Betrieb nachhaltig zu verbessern. Eine Nährstoffbilanzierung auf Schlagebene hilft Landwirt:innen, die Zufuhr und Abfuhr von Stickstoff, Phosphor und Kalium besser zu verstehen und die Entwicklung der Nährstoffversorgung besser beurteilen zu können. Ergänzend dazu ermöglicht eine Phosphor-Bodenanalyse, unterstützt durch ein im Projekt entwickeltes Einschätzungswerkzeug, eine präzisere Beurteilung des verfügbaren, nachlieferbaren und gesamten Phosphorgehalts im Boden.

Das Werkzeug zur Einschätzung der Phosphor-Mobilisierung bietet Klarheit über die Einflussfaktoren auf die P-Verfügbarkeit und zeigt, welche Bewirtschaftungsmaßnahmen diese fördern können. P-mobilisierende Zwischenfrüchte spielen dabei eine zentrale Rolle: eine ausreichende Biomasseentwicklung von 2-3 t/ha speichert hohe Mengen an Phosphor in der oberirdischen Biomasse und in den Wurzeln, was den P-Bedarf der Nachfrucht entspricht. Besonders effizient hinsichtlich der P-Aufnahme haben sich die Arten Ramtillkraut, Öllein, Phacelia und Sudangras im Zwischenfruchtgemenge erwiesen. Vielfältige Zwischenfruchtmischungen mit Leguminosen und P-mobilisierenden Pflanzen sind besonders empfehlenswert, da sie die P-Aufnahme fördern und das Risiko für einen schlechten Aufgang und Entwicklung der Zwischenfrucht reduzieren. Auf Standorten mit hohen P-Reserven, aber geringer Pflanzenverfügbarkeit, sind P-mobilisierende Zwischenfrüchte ein effektiver Ansatz.

Entscheidend für einen positiven Beitrag zur Phosphor-Mobilisierung aus den P-Reserven im Boden sind jedoch auch Standort- und Klimafaktoren, wie z.B. der pH-Wert (6,0-7,5), kalkfreier Boden, hoher Humusgehalt (> 4%), Jahresniederschlagssummen > 500 mm. Durch verschiedene Managementstrategien können zusätzlich die P-Mobilisierung bzw. P-Verfügbarkeit gefördert werden, wie z.B. die Vielfalt an Hauptkulturen in der Fruchtfolge, eine hohe Zahl an Gemengepartnern in Zwischenfrucht- und Untersaat-Mischungen, Verbleib von Grünmasse am Feld, Einstellen des pH-Wertes auf den Optimalbereich, Verbleib von Getreidestroh bzw. Grünmasse auf dem Feld u.v.m. (siehe Werkzeug zur Einschätzung der P-Mobilisierung).

Ein weiterer Erkenntnisgewinn für die landwirtschaftliche Praxis ist die Gegenüberstellung von den derzeit drei wichtigsten in Österreich verwendeten P-Analysemethoden (siehe P-Checkliste). Durch die Erklärung von Begrifflichkeiten der analysespezifischen Phosphor-Parameter und die Darstellung der Einstufungskategorien von Ergebnissen wird es für Landwirt:innen einfacher verständlich, wie die Phosphorversorgung auf ihren Feldschlägen zu bewerten ist.

Organische Dünger und gezielt eingesetzte P-Recyclingdünger können die P-Versorgung zusätzlich verbessern, insbesondere auf Standorten mit geringer P-Nachlieferung. Die Wirkung von Präparaten zur P-Mobilisierung im Boden (Bakterienpräparate, Kalkdünger, Nährstoffe/Kieselsäure) ist hingegen schwer nachweisbar und zeigte nur begrenzte Ertragssteigerungen. Insgesamt wurden durch das Projekt PhosVer praxisnahe Lösungen erarbeitet, um die Phosphor-Versorgung am landwirtschaftlichen Betrieb standortspezifisch zu optimieren.

2 Arbeitspaket 2 – Etablierung und Betrieb OG

2.1. Workshops - Veranstaltungen

Insgesamt fanden 5 Workshops und 2 Webinare der operationellen Gruppe, sowie ein öffentliches Webinar statt:

- Projekt Workshop der OG am 20.6.2022 in NÖ (Groß Enzersdorf)
- Projekt Workshop der OG am 29.6.2022 in OÖ (Linz)
- Projekt Workshop der OG am 8.5.2023 in NÖ (Groß Enzersdorf)
- Projekt Workshop der OG am 15.5.2023 in OÖ (Linz)
- Webinar der OG am 25.3.2025 mit Hans Unterfrauner zum Thema „*Fraktionierten Bodenanalyse*“
- Webinar der OG am 8.5.2025 zum Thema „*Nährstoffbilanzen*“
- Öffentliches Webinar am 12.5.2025 von Bio Austria NÖ und Wien zum Thema „*Phosphorversorgung im Bio-Ackerbau: Mobilisieren oder Düngen?*“
- Abschlussworkshop der OG am 20.5.2025 in St. Pölten

2.2. Wissenstransfer und Vernetzung

2.1.1. Feldtage und Exkursionen auf den Versuchen der OG

Insgesamt fanden 2 Feldtage auf den Versuchsflächen der operationellen Gruppe statt:

- Versuchsrundfahrt der Bodenwasserschutzberatung OÖ am 23.10.2023, Betrieb Lamm in St. Marien
- Facharbeitsgruppentreffen von Bio Austria NÖ und Wien am 24.11.2023, Betrieb Zetner in Auersthal

2.1.2. Veröffentlichungen der OG

- Erstellung und laufende Aktualisierung einer projektspezifischen Website innerhalb der Homepage der BOKU:

<https://boku.ac.at/nas/ifoel/arbeitsgruppen/ag-bodenfruchtbarkeit-und-anbausysteme/projekte/eip-projekt-phosver>

- EIP-AGRI Praxisblatt: Erstellung eines *Praxisblattes* für Netzwerk Zukunftsraum Land, September 2022
- Erstellung und Präsentation eines Posters zum *Projekt PhosVer* im Rahmen der BIO AUSTRIA Bauerntage 2024 vom 23.01. bis zum 25.01.2024 im Bildungshaus Schloss Puchberg bei Wels in Oberösterreich.
- Erstellung eines Fachartikels für die BIO AUSTRIA Fachzeitschrift für Landwirtschaft und Ökologie Ausgabe 1/2024, Februar 2024 mit dem Titel „*Nährstoffversorgung langfristig betrachtet*“
- Masterarbeit Lili Adele Bauer, Juni 2024 „*Phosphoraufnahme und Mobilisierungspotenziale von drei Winter-Zwischenfrucht-Gemenge im ökologischen Ackerbau*“. Universität für Bodenkultur Wien, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Masterarbeit Gergely István Tóth, Juni 2024 „*The effect of fertilisation in organic farming on microbial biomass and necromass*“. Universität für Bodenkultur Wien, Georg-August-Universität Göttingen.

- Vorträge von DI Andreas Surböck im Rahmen der Bionet-Ackerbautage (02.-05.12.2024, in Amstetten, Horn, Deutsch Brodersdorf und Kettlasbrunn) zum Thema „*Nährstoffmobilisierung über Begrünungen*“
- Vortrag von DI Andreas Surböck bei den Bio Austria Bauerntagen, 29.1.2025, Schloss Puchberg mit dem Thema „*Phosphorversorgung im Bio-Ackerbau*“
- Vortrag von DI Lili Bauer bei der ALVA-Tagung (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen) am 27.5.2025 in Raumberg-Gumpenstein zum Thema „*Phosphoraufnahme und -mobilisierungspotenziale von drei Zwischenfrucht-Gemengen im ökologischen Ackerbau - Ergebnisse eines Praxis-Feldversuchs (Auerthal, Niederösterreich)*“
- Erstellung einer Checkliste zur „*Einfachen Einschätzung der Phosphor-Mobilisierungs-Potentials*“

Die „*Einfache Einschätzung der Phosphor-Mobilisierungs-Potentials*“ wurde als Checkliste erstellt, die ausdrückbar bzw. online abrufbar über die Bio Austria-Homepage (<https://www.bio-austria.at/a/bauern/kostenloses-i-zur-einschaetzung-des-phosphor-mobilisierungs-potentials/>) sowie über die BOKU-Projekthomepage (<https://boku.ac.at/agri/oela/arbeitsgruppen/ag-bodenfruchtbarkeit-und-anbausysteme-agba/projekte/projekte-aktuell/eip-projekt-phosver>) zur Verfügung gestellt wird.

Es ist geplant, die Checkliste durch die Veranstaltung von Webinaren möglichst vielen Praktiker:innen vertraut zu machen und im Zuge der Diskussion mit den Teilnehmer:innen auch inhaltlich weiterzuentwickeln. Die Weiterentwicklung der Checkliste wird sich aufgrund von auftretenden Fragen bzw. Anmerkungen seitens der Praktiker:innen betreffend Unklarheiten in der Formulierung von Faktoren oder Ausdrücken, mangelnde Beschreibung zum Ausfüllen, Ausdrücke, die nicht verständlich sind, Korrektheit der Einstufungen usw. beziehen. Zurzeit ist geplant, mit Winter 2025 Webinare anzubieten, die Anzahl und der Umfang der Webinare hängt u.a. von den dafür zur Verfügung gestellten Förderungsmöglichkeiten ab.

3. Arbeitspaket 3 – On-Farm Analyse

Die Untersuchungen erfolgten auf 7 verschiedenen Praxisbetrieben in NÖ (3 biologische bewirtschaftete Versuche, 1 konventionell bewirtschafteter Versuch) und OÖ (3 biologische bewirtschaftete Versuche). Die Landwirte bzw. Versuchsstandorte wurden aufgrund ihrer geringen P-Gehalte im Boden (P_{CAL} Klasse A oder B, d.h. unter 26 bzw. 26-46 mg P/kg Boden, sehr niedrige bzw. niedrige Phosphorversorgung) ausgewählt.

Im Projekt „PhosVer“ im Arbeitspaket 3 wurden die Auswirkungen von P-mobilisierenden Zwischenfrucht-Gemengen (2022 und 2023), P-mobilisierende Betriebsmittel sowie der Effekt der Anwendung des P-Recyclingdüngers Struvit auf die Erträge und Nährstoffgehalte der folgenden Hauptkulturen Wintergetreide (2023) und Körnermais (2024) sowie auf die P-Gehalte im Boden untersucht.

Vom Versuchsteam der BOKU wurden von Juli 2022 bis Ende 2024 folgende Tätigkeiten auf den Versuchsflächen durchgeführt:

- Laufendes Abstimmen der Tätigkeiten des BOKU-Versuchsteams mit den Landwirten (vor allem über Telefon und E-Mail)
- Einmessen der Versuchspartzellen (für Bodenprobenahme und Bonitur- und Erntearbeiten) mit dem GPS nach Bodenbearbeitungsmaßnahmen und vor dem Anbau der Kulturen.
- Laufende Bonituren der Kulturen Zwischenfrüchte, Wintergetreide und Körnermais
- Koordination und Kontrolle bei wichtigen Arbeiten der Landwirte direkt auf den Versuchen (Saat, Ernte, Bodenbearbeitung usw.)
- Ausbringen von AKRA-Betriebsmitteln und Struvit-Recyclingdünger auf den Versuchspartzellen
- Händische Ernte von Zwischenfrüchten, Wintergetreide und Körnermais in allen Versuchspartzellen in allen 7 Praxisversuchen, Ermittlung der Erträge und TM-Gehalt von Korn und Stroh bzw. Biomasse, Aufarbeitung und Vorbereitung der Proben für die Nährstoffanalysen.
- Bodenprobenahme zur Durchführung von Analysen (P-Gehalt wasserlöslich, $PCAL$ und PFR , Grunduntersuchung AGES, fraktionierten Analyse Labor

Unterfrauner), Aufarbeitung und Vorbereitung der Proben für die Nährstoffanalysen (Trocknen und Sieben sowie Weiterleiten der Proben an die Labore)

Eine detaillierte Beschreibung der in den Praxisversuchen durchgeführten Tätigkeiten wird in den Zwischenberichten 1-6 dargestellt.

3.1. Praxisversuche in NÖ

3.1.1. Versuchsvarianten und Setting in NÖ

Basis der Auswertungen sind die gemeinsam in der OG festgelegten Versuchsvarianten in den Praxisversuchen in Niederösterreich und Oberösterreich (**Tabelle 3** und **Tabelle 4**). Ebenfalls gemeinsam wurden die verschiedenen Saatgutmischungen der Versuchsvarianten erarbeitet. Erfahrungen zu den Zwischenfruchtgemengen bzw. -arten und Literaturrecherchen zum Anbau und zur P-Mobilisierung von Zwischenfrüchten wurden in die Überlegungen miteingebunden.

Tabelle 3: Versuchsvarianten Setting 1 – NÖ (kalkhaltig, trocken)

Variante	Vor-Zwischenfrucht
1	P-Mobilisierer ZF-Gemenge 1
2	P-Mobilisierer ZF-Gemenge 2
3	Nicht-P-Mobilisierer ZF-Gemenge
4	P-Mobilisierer ZF2 + AKRA

Die ZF-Gemenge der Variante 1 wurden selbst zusammengestellt und dabei auf einem hohen Anteil (100%) an P-mobilisierenden Zwischenfrüchten geachtet. Das ZF-Gemenge 2 besteht aus ca. 75% P-mobilisierenden Pflanzen und ist ein in der Praxis verbreitetes, gut geeignetes Zwischenfrucht-Gemenge. In diesem Gemenge sind sehr viele unterschiedliche Zwischenfruchtarten eingebunden, die eine gute Durchwurzelung des Bodens garantieren sollen. Das Zwischenfruchtgemenge der Variante 3 dient als Referenz und soll nach der Literatur aus nicht bzw. wenig P-mobilisierenden Pflanzenarten bestehen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Alle gewählten ZF-Gemenge sind geeignet für die trockenen, kalkhaltigen Standorte in Niederösterreich.

Tabelle 4: Zwischenfrucht-Gemenge Setting 1 – NÖ (kalkhaltig, trocken)

Zwischenfrucht-Gemenge Variante	Zwischenfrucht Jahr 2022, Arten	%-Anteil	Zwischenfrucht Jahr 2023, Arten	%-Anteil
ZF 1 - P-Mobilisierer (eigene Mischung) Var. 1	Phacelia	9,0	Phacelia	7,1
	Leindotter	6,0	Leindotter	4,3
	Sommerwicke	4,0	Sommerwicke	21,4
	Ramtillkraut	7,5	Ramtillkraut	2,9
	Buchweizen	37,5	Platterbse	21,4
			Futtererbse	21,4
			Ackerbohnen	17,1
			Ölrettich	4,3
	Gesamtaussaatmenge:	40 kg/ha	Gesamtaussaatmenge:	70 kg/ha
ZF 2 - P-Mobilisierer (MaisPro TR Greening 50, DSV Saaten) Var. 2 + 4	Abess. Senf	3,5	Abess. Senf	4,0
	Tiefenrettich	2,5	Tiefenrettich	2,5
	Ramtillkraut	6,0	Ramtillkraut	6,0
	Phacelia	2,0	Phacelia	3,0
	Weißklee	0,5	Weißklee	0,5
	Alexandrinerklee	2,5	Alexandrinerklee	2,0
	Inkarnatklee	2,0	Inkarnatklee	1,5
	Schwedenklee	0,5	Schwedenklee	0,5
	Perserklee	1,0	Perserklee	1,0
	Rotklee	0,5	Rotklee	0,5
	Sonnenblume	6,0	Sonnenblume	7,0
	Sudangras	13,5	Sudangras	13,5
	Öllein	10,0	Öllein	10,0
	Serradella	1,0	Serradella	2,0
	Sommerwicke	19,0	Sommerwicke	16,5
	Winterwicke	4,5	Winterwicke	4,5
	Futtererbse	25,0	Futtererbse	25,0
	Gesamtaussaatmenge:	30 kg/ha	Gesamtaussaatmenge:	35 kg/ha
ZF 3 - Nicht-P-Mobilisierer (eigene Mischung) Var. 3	Senf	15,0	Senf	10,0
	Sudangras	60,0	Sudangras	60,0
	Sommerraps	25,0	Sommerraps	25,0
			Kresse	5,0
	Gesamtaussaatmenge:	20 kg/ha	Gesamtaussaatmenge:	20 kg/ha

In der Variante 4 wurden in drei Versuchen in NÖ speziell ausgewählte AKRA Betriebsmittel (alle in der biologischen Landwirtschaft erlaubt) auf die ZF2 (im Herbst 2022) bzw. den folgenden Winterweizen ausgebracht. Im Frühjahr 2024 wurde die Ausbringung von den AKRA Mitteln vor bzw. zum Anbau von Körnermais mit den gleichen Mitteln und Aufwandmengen wie 2022 durchgeführt. Die Auswahl dieser Produkte erfolgte aufgrund der Beratung von Hans Unterfrauner. Die eingesetzten Mittel sind Bakterienpräparate (Ausbringung in flüssiger Form) und Kalkdünger sowie Nährstoffe und Kieselsäure (Ausbringung in fester Form). Sie dienen zur Mobilisierung

von Phosphor aus verschiedenen Boden-P-Pools (Mobilisierung von mineralischen P- und organischen P-Verbindungen sowie Mobilisierung von austauschbarem P).

Beim vierten Versuch in NÖ (in Wolfsthal) wird neben zwei Zwischenfruchtgemengen (ein P Mobilisierendes ZF-Gemenge und ein Nicht-P-Mobilisierendes ZF-Gemenge) und den AKRA Mitteln noch der P-Recyclingdünger Struvit geprüft.

Tabelle 5: AKRA-Präparate in Variante 4

Präparat	Wirkung	Empfohlene Menge
AKRA Stroh R+P+K (Bodenhilfsstoff)	Schnellere Rotte von Ernterückständen, Mobilisierung von organischen P-Reserven	2 Liter/ha
AKRA MSB (Pflanzenhilfsmittel)	Steigerung von Vitalität und Pflanzengesundheit	2 Liter/ha
AKRA Sulpur+ (Elementarer Schwefel)	Absicherung gegen Pilzsporen (z.B. Schwarz- beinigkeit)	2 Liter/ha
AKRA WD	Wirtschaftsdünger-, Ernterückstands- und Festmistbehandlung	1 Liter/ha
AKRA DGC-Mix (Kalkdünger)	Mobilisierung von mineralischen P- und organ. P-Verbindungen	700 kg/ha für Versuch A. Kögl, G. Lamm, K. Kreuz, A. Konradsheim 1300 kg/ha für Versuch X. Diermayr, R. Musil, H. Zetner*
AKRA Kombi (Bodenhilfsstoff)	Mobilisierung von austauschbarem P	250 kg / ha

Legende: *Empfehlung Hans Unterfrauner

3.1.2. Projektergebnisse der Praxisversuche NÖ

3.1.2.1. Entwicklung und Nährstoffgehalt der Zwischenfrüchte 2022 und 2023

In NÖ wurden die beiden biologischen Versuche Kögl und Zetner zusammengefasst. Der Versuch Kreuz wurde auf einer konventionellen Versuchsfläche durchgeführt, die teilweise durch stauende Nässe, vor allem beim Körnermais 2024, beeinflusst war. Der Versuch wurde daher in die gemeinsame Auswertung nicht miteinbezogen.

Die TM-Erträge der Zwischenfrüchte der oberirdischen Biomasse waren im Jahr 2022 bei beiden Versuchen (Kögl und Zetner) sehr gering. Trockene Bedingungen im Sommer/Herbst 2022 und die kurze Vegetationszeit vor Winterweizen waren

ausschlaggebend dafür. Das Zwischenfruchtgemenge in der Variante 3 (Nicht-P-mob. ZF-Gemenge) erzielte einen geringfügig höheren Ertrag. Entsprechend des geringen Biomasseaufwuchses wurden auch nur geringe Mengen an Stickstoff und Phosphor in der Pflanzenmasse der Zwischenfrüchte gespeichert mit wenig Unterschieden zwischen den Varianten.

Bei allen Varianten wurde das CP-Verhältnis berechnet. Bei einem engen C/P-Verhältnis von <200 ist eine P- Mineralisierung aus den Zwischenfrüchten zu erwarten, bei einem weiten C/P-Verhältnis >300 kann eine Immobilisierung von P auftreten. Das CP-Verhältnis lag zwischen 149 und 170 und ist als günstig einzustufen.

Tabelle 6: Mittlere Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2022 (oberirdische Biomasse) in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)

Var.	ZF-Gemenge NÖ	TM-Ertrag kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹	CN Verhältnis	CP Verhältnis
1	P-mob. ZF G1	280	2,69	0,25	15,4	0,78	15,4	164
2	P-mob. ZF G2	336	3,03	0,25	14,1	0,85	14,1	170
3	"Nicht" P-mob. ZF	572	2,54	0,27	16,1	1,51	16,1	154
4	P-mob. ZF G2 + AKRA	414	3,06	0,28	13,5	1,16	13,5	149

Beim Zwischenfruchtanbau im Jahr 2023 waren die Witterungsbedingungen in NÖ ähnlich wie im Jahr 2022. Eine feuchtere Wetterphase Anfang August verzögerte den geplanten Zwischenfruchtanbau etwas, nach dem Zwischenfruchtanbau Mitte August wurde es aber rasch über einen längeren Zeitraum sehr trocken und sehr heiß, was die Entwicklung der Zwischenfrüchte beeinträchtigte und den TM-Aufwuchs sehr niedrig ausfallen ließ. Im Mittel erzielte die Variante 1 den höchsten Ertrag, gefolgt von den Varianten 2 und 4 und der Variante 3 mit dem Nicht-P-mob. ZF-Gemenge. Die N-Aufnahme lag nur zwischen 8 und 17 kg ha⁻¹, wie beim Ertrag mit dem höchsten Wert bei der Variante 1. Von Phosphor wurde im Mittel mit nur 1,1 kg P ha⁻¹ sehr wenig in der oberirdischen Zwischenfruchtbiomasse aufgenommen. Das CP-Verhältnis lag bei allen Varianten knapp unter 200.

Tabelle 7: Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2023 (oberirdische Biomasse) in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)

Var.	ZF-Gemenge NÖ	TM-Ertrag kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹	CN Verhältnis	CP Verhältnis
1	P-mob. ZF G1	639	2,73	0,21	16,6	1,2	13,3	179
2	P-mob. ZF G2	523	2,22	0,22	9,0	1,2	21,2	186
3	"Nicht" P-mob. ZF	316	2,62	0,26	8,1	0,8	16,3	162
4	P-mob. ZF G2 + AKRA	506	2,45	0,21	10,4	1,0	18,2	194

3.1.2.2. Entwicklung und Nährstoffgehalt der Hauptkulturen Wintergetreide 2023 und Mais 2024

Die Kornerträge von Winterweizen (Standort Kögl) und Winterdurum (Standort Zetner) fielen trotz günstiger Witterungsbedingungen im Frühjahr 2023 gering aus. Die Böden der Versuchsstandorte sind leicht bis mittelschwer, mit trockenen Wasserverhältnissen und eingeschränktem N-Mineralisierungspotential, vor allem beim Standort Zetner. Die Varianten 1, 2 und 3 erzielten im Mittel sehr ähnliche Kornerträge, die Variante 3 fällt geringfügig im Ertrag etwas ab. Auch bei der Aufnahme von N und P weist die Variante 3 die niedrigsten Werte auf. Die Konzentration von N und P im Korn unterschied sich jedoch nur geringfügig zwischen den Varianten.

Tabelle 8: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Wintergetreide Korn 2023 in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)

Var.	ZF-Gemenge NÖ	TM-Ertrag 86% TM, kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹
1	P-mob. ZF G1	2166	1,64	0,39	30,6	7,3
2	P-mob. ZF G2	2228	1,66	0,39	32,2	7,5
3	"Nicht" P-mob. ZF	1947	1,62	0,39	27,2	6,6
4	P-mob. ZF G2 + AKRA	2332	1,65	0,40	34,4	8,2

Auch beim Körnermais im Jahr 2024 konnte auf den Standorten in NÖ kein hohes Ertragsniveau erreicht werden. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren aber im Vergleich zum Wintergetreide etwas höher. Die Variante 2 erreichte mit 3786 kg ha⁻¹ den höchsten Körnermaisertrag, danach folgten die Varianten 4 mit dem gleichen ZF-Gemenge wie Variante 2 nur mit zusätzlicher AKRA-Ausbringung. Die Varianten 1

und vor allem die Variante 3 mit 2541 kg ha⁻¹ lagen im Kornertrag bereits deutlich zurück. Bei ähnlichen Gehalten von N und P im Korn wurde die N- und P-Aufnahme daher vor allem von der Höhe des Kornertrages bestimmt, was zur gleichen Reihenfolge in der Aufnahmehöhe der Nährstoffe wie bei Kornertrag führte, beginnend mit der Variante 2.

Tabelle 9: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Mais Korn 2024 in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)

Var.	ZF-Gemenge NÖ	TM-Ertrag 86% TM, kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹
1	P-mob. ZF G1	2887	1,17	0,22	29,1	5,42
2	P-mob. ZF G2	3786	1,14	0,22	37,3	7,38
3	"Nicht" P-mob. ZF	2541	1,12	0,23	23,7	5,11
4	P-mob. ZF G2 + AKRA	3395	1,18	0,24	34,0	7,15

Auffällig ist, dass trotz ungünstiger Zwischenfruchtentwicklung vor beiden Hauptfrüchten die Kornerträge beim vielfältigen ZF-Gemenge in den Varianten 2 und 4 sowohl beim Wintergetreide als auch beim Körnermais am höchsten waren und bei der Variante 3 mit dem Gemenge mit nur wenigen Arten und ohne Leguminosen am geringsten ausfielen.

3.1.2.3. Praxisversuch mit Ausbringung des P-Recyclingdüngers Struvit

Beim Versuch Konradsheim wurden andere Varianten im Vergleich zu den weiteren Versuchen in NÖ geprüft. Neben zwei unterschiedlichen Zwischenfruchtgemengen wurden AKRA-Mittel zur Förderung der P-Mobilisierung im Boden in der Variante 3 (zweimalige Ausbringung vor Winterweizen und vor Sojabohnen) und der P-Recyclingdünger Struvit in der Variante 2 ausgebracht. Die Fruchtfolge im Versuch war Buchweizen (2022) – Wintertriticale (2023) – Zwischenfrucht (2023) – Sojabohnen (2024). Struvit wird aus kommunalen Kläranlagen gewonnen, ist für den Einsatz im biologischen Landbau zugelassen und chemisch ein Magnesium-Ammonium-Phosphat. Die Ausbringung des Struvit erfolgte im August 2023 zum Zwischenfruchtanbau in der Höhe von 350 kg ha⁻¹ Struvit, was 31 kg Phosphor je Hektar entspricht.

Im Jahr 2023 wurde Wintertriticale geerntet. Die Kornerträge lagen zwischen 5502 und 5842 kg ha⁻¹ (bei 86 % Trockenmasse). Es wurden keine signifikanten Unterschiede im Kornertrag zwischen den Versuchsvarianten festgestellt.

Der Aufwuchs der Zwischenfrüchte im Jahr 2023 war sehr gering. Die Variante mit Struvit erreichte den höchsten Ertrag und lag auch bei der N- und P-Aufnahme vorne.

Tabelle 10: Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2023 (oberirdische Biomasse) in NÖ (Versuch Konradsheim)

Var.	ZF-Gemenge NÖ	TM-Ertrag kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹	CN Verhältnis	CP Verhältnis
1	P-mob. ZF 2	521 a	3,03	0,31	15,8	1,6	12,8	127
2	P-mob. ZF 2 + Struvit	678 a	3,16	0,35	21,5	2,4	11,2	102
3	P-mob. ZF 2 + AKRA	422 ab	3,27	0,38	13,8	1,6	12,5	109
4	"Nicht"-P-mob. ZF	43 b	2,30	0,22	1,0	0,1	12,0	125

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Bei der Sojabohne im Jahr 2024 erzielte die Variante 2 mit der Struvitdüngung mit 2023 kg ha⁻¹ den höchsten Kornertrag. Dieser unterschied sich signifikant von der Variante 4 mit dem Nicht-P-mob. ZF-Gemenge, während zu den Varianten 1 und 3 keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. Mit dem höheren Kornertrag wurden auch mehr N und P im Sojakorn der Variante 2 gespeichert. Bei N war die Aufnahme mit 99 kg/ha in der Var. 2 sehr hoch, vom P wurden 6,7 kg/ha aufgenommen. Diese Werte der Var. 2 lagen wieder signifikant über den Werten der Var. 4, zu den Var. 1 und 3 traten keine statistisch gesicherten Unterschiede auf (Tabelle 11).

Tabelle 11: Erträge, N- und P-Aufnahme in Soja Korn 2024 in NÖ (Versuch Konradsheim)

Var.	ZF-Gemenge NÖ	Kornertrag 86% TM, kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹
1	P-mob. ZF 2	1640 ab	5,51 a	0,36 a	78,4 ab	5,2 ab
2	P-mob. ZF 2 + Struvit	2023 a	5,64 a	0,39 a	98,7 a	6,7 a
3	P-mob. ZF 2 + AKRA	1701 ab	5,64 a	0,35 a	81,9 ab	5,1 ab
4	"Nicht"-P-mob. ZF	1389 b	5,60 a	0,36 a	66,7 b	4,3 b

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

3.1.2.4. Phosphorgehalt im Boden

Durch die Analyse verschiedener P-Fraktionen bzw. -Parameter im Boden sollte die Möglichkeit einer Mobilisierung von Boden-P-Reserven durch Zwischenfruchtmischungen und externen Betriebsmitteln (AKRA) untersucht werden. Dazu wurde zu Projektbeginn, zu mehreren Terminen während der Vegetationsperiode 2022/2023 sowie 2023/2024, sowie zu Versuchsende Bodenproben entnommen, welche an der AGES (P_{CAL} , PFR), am Institut für Bodenforschung an der BOKU (P wasserlöslich) sowie im Labor Unterfrauner (P-Fraktionen) analysiert wurden. Die detaillierten Ergebnisse sind den Zwischenberichten 1-6 zu entnehmen.

Generell wurden beim **wasserlöslichen P** keine großen Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Im Jahresverlauf fiel der wasserlösliche P im Boden ab dem Herbst 2022 bei allen Versuchsvarianten deutlich ab und stieg erst wieder zum Herbst 2023/Frühjahr 2024 auf die Ausgangswerte an. Der Einsatz des Recyclingdüngers Struvit im August 2023 (Betrieb Konradsheim) zeigte sich in höheren P wasserlöslich Gehalten nach der Düngung. Die Analyse des wasserlöslichen P-Gehaltes im Boden ist im Allgemeinen günstig, um kurzzeitige Veränderungen in diesem P-Pool festzustellen.

Da die klassische P_{CAL} -Analyse nur einen diffusen P-Pool beschreibt und die organischen P-Verbindungen nicht miteinschließt, ist die Analyse von **P-Fraktionen** wichtig. Denn vor allem in der biologischen Landwirtschaft werden ja keine leicht löslichen mineralischen P-Dünger verwendet, die Nachlieferung erfolgt vorwiegend über mikrobiologische Prozesse. Generell zeigte sich ein starker Mangel in der Fraktion des austauschbaren Phosphors, die mineralischen und organischen P-Reserven waren jedoch auf allen Standorten sehr hoch. Der detaillierte Bericht zur Analyse der P-Fraktionen vom Labor Unterfrauner wurde dem 6. Zwischenbericht beigelegt.

Die PFR oder **Phosphatfreisetzungsrates** beschreibt die P-Nachlieferungsgeschwindigkeit aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung, nachdem die Pflanzenwurzeln der Bodenlösung das Phosphat entzogen haben. Die PFR kann die Phosphorfreisetzungsrates unabhängig von der Höhe der Phosphordüngung darstellen, da auch andere Faktoren wie der pH-Wert berücksichtigt werden. Dadurch bleibt die

Einstufung der PFR bei allen Varianten der Phosphordüngung konstant. Im Rahmen einer Studie von der AGES (Bajraktarevic 2025) wurden Bodenproben aus dem vorliegenden Projekt der PFR-Analyse zugeführt. Das Ergebnis dieser Studie besagt, dass tendenziell eine höhere PFR in den P-mob. ZF-Varianten beobachtet wurde, jedoch die Stichprobenzahl zu niedrig war, um eine statistisch signifikante Relevanz abzuleiten. Beim Versuch Konradsheim konnten in der Variante mit Struvitdüngung wie beim wasserlöslichen P höhere Werte bei der Phosphatfreisetzungsrates festgestellt werden.

3.2. Praxisversuche in OÖ

3.2.1. Versuchsvarianten und Setting in OÖ

Das Versuchsetting in OÖ besteht aus vier Varianten mit zwei verschiedene ZF-Gemengen (**Tabelle 12Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In den Variante 3 + 4 werden die Auswirkungen von ausgewählten AKRA Betriebsmitteln (alle in der biologischen Landwirtschaft erlaubt) auf das P-Mobilisierende ZF-Gemenge und auf das Nicht-P-Mobilisierende ZF-Gemenge untersucht. Die erste Ausbringung der AKRA Betriebsmittel erfolgte wie in NÖ vor und zu Winterweizen im Herbst 2022, die zweite Ausbringung wurde im Frühjahr 2024 vor und zum Anbau von Körnermais durchgeführt.

Tabelle 12: Versuchsvarianten Setting 2 – OÖ (kalkhaltig, feucht)

Variante	Vor-Zwischenfrucht
1	Nicht P-Mobilisierer ZF-Gemenge
2	P-Mobilisierer ZF-Gemenge
3	Nicht-P-Mobilisierer ZF-Gemenge + AKRA
4	P-Mobilisierer ZF-Gemenge + AKRA

Für die P-mobilisierenden ZF-Gemenge (Var. 2 und 4) wurden im Rahmen des Workshops wie in NÖ Mischungen aus möglichst vielen P-mobilisierenden Pflanzen gewählt. Es sind in der Praxis verbreitete, gut geeignete Zwischenfrucht-Gemenge mit unterschiedlichen Arten. Im Jahr 2022 vor Winterweizen lag der Fokus auf sehr schnell

wachsende Kulturen mit sicherem Aufgang. Im Jahr 2023 vor Körnermais wurde die gleiche Mischung (mit 75% P-mobilisierenden Pflanzen) wie in NÖ gewählt. Für die Variante 1 und 3 wurden ebenfalls ein Nicht P- bzw. wenig mobilisierendes ZF-Gemenge wie in NÖ zusammengestellt (**Tabelle 13 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Alle gewählten ZF-Gemenge sind für die Witterungsbedingungen in Oberösterreich geeignet.

Tabelle 13: Zwischenfrucht-Gemenge Setting 2 – OÖ (kalkhaltig, feucht)

Zwischenfrucht-Gemenge Variante	Zwischenfrucht Jahr 2022, Arten	%-Anteil	Zwischenfrucht Jahr 2023, Arten	%-Anteil
ZF - P-Mobilisierer (Jahr 2022: Wassergüte Rau, Saatbau Linz plus Ramtillkraut) (Jahr 2023: MaisPro TR Greening 50, DSV Saaten) Var. 2 + 4	Buchweizen	50,0	Abess. Senf	4,0
	Phacelia	20,0	Tiefenrettich	2,5
	Ölrettich	20,0	Ramtillkraut	6,0
	Senf	3,0	Phacelia	3,0
	Ramtillkraut	7,0	Weißklee	0,5
			Alexandrinerklee	2,0
			Inkarnatklee	1,5
			Schwedenklee	0,5
			Perserklee	1,0
			Rotklee	0,5
			Sonnenblume	7,0
			Sudangras	13,5
			Öllein	10,0
			Serradella	2,0
			Sommerwicke	16,5
			Winterwicke	4,5
			Futtererbse	25,0
	Gesamtaussaatmenge:	30 kg/ha	Gesamtaussaatmenge:	35 kg/ha
ZF - Nicht-P-Mobilisierer (eigene Mischung) Var. 1 + 3	Senf	15,0	Senf	10,0
	Sudangras	60,0	Sudangras	60,0
	Sommerraps	25,0	Sommerraps	25,0
			Kresse	5,0
	Gesamtaussaatmenge:	20 kg/ha	Gesamtaussaatmenge:	20 kg/ha

3.2.2. Projektergebnisse der Praxisversuche OÖ

3.2.2.1. Entwicklung und Nährstoffgehalt der Zwischenfrüchte 2022 und 2023

Die Ergebnisse der drei Praxisversuche in OÖ wurden zusammengefasst und in den Tabellen die Mittelwerte über die jeweiligen Versuchsvarianten dargestellt. Im Jahr 2022 konnten in OÖ bei allen Zwischenfruchtvarianten hohe TM-Erträge von im Mittel 2752 bis 3285 kg ha⁻¹ erreicht werden. Auch die N- und P-Gehalte unterschieden sich nur wenig, was eine N-Aufnahme von 35 bis 46 kg ha⁻¹ und ein P-Aufnahme von 9,8

bis $12,8 \text{ kg ha}^{-1}$ in einem ähnlichen Bereich zur Folge hatte. Bei allen Varianten wurde das C/P-Verhältnis berechnet. Bei einem engen C/P-Verhältnis von <200 ist eine P-Mineralisierung aus den Zwischenfrüchten zu erwarten. Bei einem engen C/P-Verhältnis von 300 kann eine Immobilisierung von P auftreten. Das C/P-Verhältnis lag daher bei allen Varianten in einem günstigen Bereich.

Tabelle 14: Mittelwerte Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2022 (oberirdische Biomasse) in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)

Var.	ZF-Gemenge OÖ	TM-Ertrag kg ha^{-1}	N %	P %	N-Aufnahme kg ha^{-1}	P-Aufnahme kg ha^{-1}	CN Verhältnis	CP Verhältnis
1	"Nicht" P-mob. ZF	2752	1,97	0,40	34,5	11,0	21,8	119
2	P-mob. ZF	3285	1,96	0,39	45,2	12,8	20,8	109
3	"Nicht" P-mob. ZF + AKRA	3052	2,23	0,37	46,0	11,3	18,9	121
4	P-mob. ZF + AKRA	2958	2,01	0,34	41,7	9,8	20,2	154

Im Jahr 2023 kam es bei den Zwischenfrüchten in OÖ vor der Hauptfrucht Körnermais wieder zu einer guten Biomasseentwicklung, die Unterschiede zwischen den Varianten waren aber deutlicher ausgeprägt. Die Varianten 1 und 3 mit dem Nicht P-mob. ZF Gemenge erzielten einen deutlich geringeren Biomasseertrag (im Mittel 1633 kg ha^{-1}) als die Varianten 2 und 4 mit dem P-mob. ZF-Gemenge (im Mittel 3169 kg ha^{-1}). Auch die N- und P-Gehalte waren bei den Varianten 1 und 3 geringer. Im Mittel dieser Varianten wurden 25 kg N ha^{-1} und 6 kg P ha^{-1} aufgenommen, während in der Zwischenfruchtbiomasse der Variante 2 und 4 im Mittel 72 kg N ha^{-1} und 13 kg P ha^{-1} gespeichert wurden. Die CP-Verhältnisse lagen bei allen Varianten in einem günstigen Bereich, das CN-Verhältnis war bei den Var. 1 und 3 höher. Im Mittel über alle drei Versuche in OÖ wiesen die Varianten mit der Ausbringung der AKRA Mittel tendenziell einen höheren Zwischenfruchtbiomasseertrag im Vergleich zu den gleichen Varianten ohne AKRA Ausbringung auf.

Tabelle 15: Mittelwerte Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2023 (oberirdische Biomasse) in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)

Var. ZF-Gemenge OÖ		TM-Ertrag kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹	CN Verhältnis	CP Verhältnis
1	"Nicht" P-mob. ZF	1591	1,49	0,37	23,8	6,0	28,8	117
2	P-mob. ZF	2999	2,16	0,40	63,9	11,8	19,5	106
3	"Nicht" P-mob. ZF + AKRA	1674	1,59	0,39	25,4	6,7	27,3	109
4	P-mob. ZF + AKRA	3339	2,44	0,41	80,3	13,3	17,4	105

In den Gemengen der Var. 2 und 4 konnten sich im Jahr 2023 auch die Leguminosen, vor allem die Körnerleguminosen, gut etablieren. Die Leguminosen binden Luftstickstoff und damit steht der nachfolgenden Hauptkultur zusätzlicher Stickstoff für ihre Ertragsentwicklung zur Verfügung. Die P-Aufnahme der Hauptkultur hängt auch von ihrer Bestandesentwicklung und hier vor allem von der damit verbundenen Wurzelentwicklung ab. Um diesen Vorteil der Var. 2 und 4 auszugleichen und die P-Mobilisierung der Zwischenfrüchte in den Mittelpunkt zu stellen, wurde beschlossen in den Var. 1 und 3 ohne Leguminosen in den Zwischenfruchtgemengen eine N-Ausgleichsdüngung zum Maisanbau durchzuführen. Basis für die N-Ausbringungsmengen war die Luftstickstoffbindung in den Var. 2 und 4, die nach einer Standardformel auf Basis der ermittelten TM-Erträge und N-Gehalte der Leguminosenbiomasse in den jeweiligen Varianten und Versuchen ermittelt wurden. Vor dem Maisanbau 2024 wurde Stickstoff mittels eines biologischen N-Düngers in den Parzellen der Var. 1 und 3 je nach Versuch in den Mengen 16, 25 und 70 kg Stickstoff je Hektar ausgebracht.

3.2.2.2. Entwicklung und Nährstoffgehalt der Hauptkulturen Wintergetreide 2023 und Mais 2024

Die Weizenerträge können beim Standort Diermayr als hoch und beim Versuch Lamm als mittel eingestuft werden. Der Weizenertrag beim Versuch Musil fiel geringer aus. Im Mittel über die Versuche konnten im Jahr 2023 in OÖ mittlere Weizenerträge im Bereich von 3322 bis 3535 kg ha⁻¹ erzielt werden. Die Unterschiede im Kornertrag zwischen den Varianten waren gering, auch die N- und P-Gehalte unterschieden sich nur geringfügig voneinander. Daher lag auch die N- und P-Aufnahme in einem engen Bereich, im Mittel über die Versuche wurden im Weizenkorn 44 kg N ha⁻¹ und 11 kg P ha⁻¹ aufgenommen. Die Mengen entsprechen im Wesentlichen den Nährstoffmengen

die in der oberirdischen Biomasse der Zwischenfruchtgemenge im Jahr 2022 gespeichert waren, wieviel dieser Mengen vom Weizen aus dem Boden oder über die Mineralisierung aus der Zwischenfrucht aufgenommen, wurde im Projekt nicht untersucht.

Tabelle 16: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Wintergetreide Korn 2023 in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)

Var.	ZF-Gemenge OÖ	TM-Ertrag 86% TM, kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹
1	"Nicht" P-mob. ZF	3322	1,46	0,38	41,8	10,6
2	P-mob. ZF	3497	1,52	0,38	45,5	11,2
3	"Nicht" P-mob. ZF + AKRA	3535	1,50	0,37	45,4	11,2
4	P-mob. ZF + AKRA	3383	1,46	0,38	42,9	10,8

Auch beim Körnermais im Jahr 2024 konnten in OÖ mittlere Kornerträge erzielt werden. Bei den Einzelversuchen war die Reihenfolge der Körnermais-Erträge gleich wie beim Weizenertrag, d.h. mit den höchsten Erträgen bei Diermayr, gefolgt von Lamm und Musil. Trotz N-Ausgleichsdüngung in den Varianten 1 und 3 waren die Kornerträge in den Varianten 2 und 4 höher, was auf die bessere Entwicklung der Zwischenfrucht, der höheren N-Speicherung und dem geringerem CN-Verhältnis in diesen Varianten zurückgeführt wird. Die N- und P-Gehalte waren zwischen den Varianten ähnlich, die Unterschiede in der Nährstoffaufnahme von N und P basieren daher vor allem auf der unterschiedlichen Kornertragshöhe. Die Varianten mit AKRA Ausbringung (3 und 4) lagen beim Kornertrag geringfügig über den jeweiligen Vergleichsvarianten (1 und 2), bei der Nährstoffspeicherung traten diese tendenziellen Differenzen hingegen nicht auf.

Tabelle 17: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Mais Korn 2024 in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)

Var.	ZF-Gemenge OÖ	TM-Ertrag 86% TM, kg ha ⁻¹	N %	P %	N-Aufnahme kg ha ⁻¹	P-Aufnahme kg ha ⁻¹
1	"Nicht" P-mob. ZF	6151	1,18	0,28	62,6	14,8
2	P-mob. ZF	6998	1,18	0,28	71,5	17,3
3	"Nicht" P-mob. ZF + AKRA	6464	1,09	0,27	61,6	14,8
4	P-mob. ZF + AKRA	7283	1,17	0,25	74,3	16,1

3.1.2.2. P-Gehalt im Boden

Generell wurden beim **wasserlöslichen P** auch auf den Versuchsstandorten in Oberösterreich keine großen Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Im Jahresverlauf fiel der wasserlösliche P im Boden ab dem Herbst/Winter 2022 bei allen Versuchsvarianten deutlich ab, d.h. es wurden höhere Werte in den kühleren Monaten festgestellt. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren teilweise gering, teilweise etwas größer, je nach Termin und Betrieb, es war jedoch kein eindeutiges, variantenspezifisches Muster zu erkennen.

Auch bei den Versuchen in Oberösterreich zeigte sich ein starker Mangel in der Fraktion des austauschbaren Phosphors, die mineralischen und organischen P-Reserven waren jedoch auf allen Standorten sehr hoch. Der detaillierte Bericht zur Analyse der **P-Fraktionen** vom Labor Unterfrauner wurde dem 6. Zwischenbericht beigelegt.

Die zusätzlich durchgeführte Analyse der **P-Freisetzungsrate** brachte ein differenzierteres Bild. Hier wiesen die Varianten P-mob. ZF und P-mob. ZF + AKRA in zwei von drei Praxisversuchen eine höhere P-Freisetzungsrate auf, die Unterschiede waren jedoch statistisch nicht absicherbar. Trotz höherer PFR-Einstufung ergab die gemeinsame Einstufung (PCAL und PFR) die Versorgungsstufe A (sehr niedrig) bis B (niedrig) bei allen Varianten. Das Ergebnis der Studie von Bajraktarevic (2025) weist ebenfalls darauf hin, dass tendenziell eine höhere PFR in den P-mob. ZF-Varianten beobachtet wurde, jedoch die Stichprobenzahl zu niedrig war, um statistische Unterschiede zwischen den Varianten festzustellen.

3.2.3. Nährstoffbilanzierung auf Schlagebene

Den an der OG teilnehmenden, interessierten Landwirten (H. Zetner, X. Diermayr und A. Kögl) wurde die Methode der Nährstoffbilanzierung auf Schlagebene beim Webinar der OG am 8.5.2025 (siehe AP2) vermittelt. Die Nährstoffbilanzierung ist eine Methode, um ein Bewusstsein für die Nährstoffmengen von Kulturen, deren Koppelprodukte und Düngungsmaßnahmen zu schärfen und den Betriebsleiter:innen die Größenordnungen der Zufuhr und Abfuhr des Nährstoffes Phosphor in der betriebseigenen Fruchtfolge aufzuzeigen. Es dient zur Überprüfung des Nährstoffeinsatzes und zur Beurteilung der Nährstoffeffizienz eines Landnutzungssystems.

Bei der Schlagbilanz wird der Nährstoffinput und -output eines einzelnen Feldschlages in einem gewissen Beobachtungszeitraum (meistens eine Fruchtfolge) dargestellt und daraus ein Saldo berechnet. Für die Berechnung der Schlagbilanzen wurden die Daten der betriebseigenen Fruchtfolge der Versuchsschläge der teilnehmenden Landwirte der letzten 6 – 11 Jahre erhoben und aufbereitet. Nährstoffkoeffizienten für Kulturen und Dünger wurden aus der Literatur herangezogen (Stein-Bachinger, et al. 2004, Kerschberger et al. 2001, BMLFRW, 2023). Die als Ergebnis der Schlagbilanzen entstandenen Salden der Nährstoffe N, P und K wurden anhand von Literatur interpretiert (Kolbe 2010, Kolbe 2019).

Die Ergebnisse der Betriebe waren sehr unterschiedlich. Der **Betrieb X. Diermayr** wies einen optimalen P-Saldo von -1,9 kg/ha/Jahr auf, weil aufgrund des P-Gehaltes in den ausgebrachten organischen Düngemitteln (12 kg P/ha/Jahr im Kompost, 3 kg P/ha/Jahr in der Rindergülle) fast genauso viel Phosphor auf dem Feldschlag ausgebracht wurde, wie durch die Erntefrüchte exportiert wurde. Der P_{CAL} -Gehalt im Boden zu Versuchsbeginn im Juli 2022 war mit 56 mg P/kg Boden in der Kategorie C, ausreichende Nährstoffversorgung einzustufen. Nach Kolbe (2015) sind P-Nährstoffbilanzsalden zwischen -2 und +5 kg P/ha/Jahr als Toleranzbereich anzusehen, bei dem keine weiteren Maßnahmen zur Erhöhung der P-Verfügbarkeit notwendig sind. Zum Versuchsende wurde ein P_{CAL} -Gehalt im Boden am Betrieb X. Diermayr von 53-64 mg P/kg Boden festgestellt (keine Unterschiede zwischen den Varianten). Somit zeigte der Betrieb X. Diermayr auf dem ausgewählten

Versuchsschlag sowohl aus der Sicht der Nährstoffbilanzierung als auch in den Bodenanalysenwerten eine ausreichende P-Versorgung.

Die Nährstoffbilanzierung am **Betrieb H. Zetner** ergab einen P-Saldo von -15,5 kg P/ha/Jahr. Der P_{CAL} -Gehalt im Boden zu Versuchsbeginn im Juli 2022 war mit 22 mg P/kg Boden in der Kategorie A, d.h. als sehr gering einzustufen. Zum Versuchsende wurde ein P_{CAL} -Gehalt im Boden am Betrieb H. Zetner von 23-37 mg P/kg Boden festgestellt, d.h. Kategorie A und B von sehr gering bis geringe Nährstoffversorgung (keine Unterschiede zwischen den Varianten). Am Betrieb H. Zetner wird Phosphor nur in einer Höhe von etwa 5 kg P/ha/Jahr zugeführt (Pferdemist, Rohphosphat), 21 kg P/ha/Jahr werden durch die Ernteprodukte exportiert. Negative P-Schlagbilanzsalden sind typisch für viehlose Marktfruchtbetriebe in Niederösterreich. Auf diesem Standort sind mittel- bis langfristig Strategien erforderlich, um die P-Versorgung zu erhöhen.

Am **Betrieb A. Kögl** war der P_{CAL} -Gehalt im Boden zu Versuchsbeginn im Juli 2022 war mit <20 mg P/kg Boden in der Kategorie A, d.h. als sehr gering einzustufen. Zum Versuchsende wurde ein P_{CAL} -Gehalt im Boden am Betrieb A. Kögl von 17-30 mg P/kg Boden festgestellt, d.h. Kategorie A und B von sehr gering bis geringe Nährstoffversorgung (keine Unterschiede zwischen den Varianten). Die Nährstoffbilanzierung am Betrieb A. Kögl ergab einen P-Saldo von -13,5 kg/ha/Jahr. Hier wurden in der Fruchtfolge kein P-Dünger auf das Feld ausgebracht, hingegen 14 kg P/ha/Jahr mit den Erntefrüchten exportiert. Auch auf diesem Standort sind mittel- bis langfristig Strategien erforderlich, um die P-Versorgung zu erhöhen.

3.2.4. Praxiswerkzeug zur Beurteilung der Phosphor-Versorgung und des Phosphor-Mobilisierung-Potential

Die Zielsetzung für die Entwicklung dieses Werkzeuges war, den Landwirten aufzuzeigen, welche Faktoren die Phosphor-Mobilisierung begünstigen, damit die P-Reserven im Boden besser genutzt werden können. Die Checkliste muss einfach zu bedienen sein, die dafür notwendigen Daten müssen verfügbar und es muss in kurzer Zeit für den Praktiker:in durchführbar sein und ein leicht verständliches Ergebnis

liefern. Die Checkliste soll das Bewusstsein für die Gegebenheiten am eigenen Betrieb hinsichtlich der Phosphor-Mobilisierung bzw. P-Verfügbarkeit schärfen.

Neben der erweiterten Kenntnis über die Einstufung von Bewirtschaftungsmaßnahmen und den Einfluss von P-mobilisierenden Faktoren durch die P-Checkliste spielt für die Interpretation der P-Versorgung am Betrieb die richtige Einstufung von Analyseergebnissen eine große Rolle. Um die Interpretation von Analyseergebnissen zu erleichtern, wurden die P-Analysewerte der drei häufigsten in Österreich verwendeten Labore aufgelistet und eingestuft. Für jeden Parameter liegt zusätzlich eine Definition vor.

Die Checkliste ist ausdrückbar bzw. online abrufbar (über die Bio Austria-Homepage sowie über die BOKU-Projekthomepage) und kann in sehr kurzer Zeit händisch ausgefüllt werden. Die Bewertung kann nach dem Ausfüllen sofort selbstständig vorgenommen werden.

3.2. Zusammenfassung und Fazit der Praxisversuche

Im Rahmen der Praxisversuche wurden versucht die Phosphorversorgung der Hauptkulturen Wintergetreide und Körnermais durch den zweimaligen Anbau der unterschiedlichen Zwischenfruchtgemenge vor den Hauptkulturen und die zweimalige Ausbringung von Präparaten zur Steigerung der P-Mobilisierung (Summenwirkung) zu fördern.

- Beim Zwischenfruchtanbau war im Vergleich der Bundesländer NÖ und OÖ in beiden Anbaujahren der Zwischenfrüchte 2022 und 2023 eine ähnliche Entwicklung festzustellen. Aufgrund trockener Bedingungen in NÖ war die Zwischenfruchtentwicklung gehemmt und es konnten nur mittlere TM-Erträge der oberirdischen Biomasse von 724 - 848 kg ha⁻¹ erzielt werden, in beiden Jahren war die Aufnahme von P in die Zwischenfruchtbiomasse mit 1,8 g P kg⁻¹ daher gering. In OÖ bei günstigen Feuchteverhältnissen wurden 2022 im Mittel der Versuche und Varianten 3012 kg ha⁻¹ TM der Zwischenfrüchte und im Jahr 2023 etwa 2400 kg ha⁻¹ geerntet, was eine P-Aufnahme in die Zwischenfruchtbiomasse von 11,4 g kg⁻¹ bzw. 9,4 g kg⁻¹ bedeutet. Im Jahr 2023 erreichten die Zwischenfruchtvarianten sehr unterschiedliche TM-Erträge, das Nicht-P-mob. ZF-Gemenge erzielte eine

TM-Ertrag von im Mittel 2401 kg ha⁻¹ während das P-mob. ZF-Gemenge 3169 kg ha⁻¹ erreichte, was eine Aufnahme von 6,3 bzw. 12,5 kg P ha⁻¹ bedeutet.

- Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer entsprechenden Biomasseentwicklung der Zwischenfrucht hohe Mengen an P in der oberirdischen Biomasse gespeichert werden können. Zusätzlich werden in der unterirdischen Wurzelbiomasse der Zwischenfrüchte ebenfalls Nährstoffe aufgenommen, womit die P-Aufnahme bzw. der P-Bedarf des nachfolgenden Wintergetreides und des Körnermais grundsätzlich gut abgedeckt werden kann. Ein dichtes Wurzelsystem und hohe Wurzelausscheidungen fördern die Mikroorganismen und somit die P-Aufnahme. Da P im Boden wenig beweglich ist, hilft ein dichtes Wurzelsystem, um räumlich die P-Vorräte besser erschließen zu können. Die gute Biomasseentwicklung in Verbindung mit einem ausgeprägten Wurzelsystem der Zwischenfrüchte in OÖ hat daher vermutlich zu höheren P-Gehalten in den Pflanzen geführt.
- Wenn man die P-Aufnahme der Einzelpflanzen betrachtet, weisen in beiden Jahren und in beiden Bundesländern das Ramtillkraut, der Öllein, die Phacelia aber auch das Sudangras die höchsten P-Gehalte auf. Für die Beurteilung der P-Mobilisierung der Kulturen ist hier zusätzlich ihr Ertragspotential im Spross und in den Wurzeln und die zeitgerechte P-Nachlieferung aus der Zwischenfruchtbiomasse für die folgende Hauptfrucht zu berücksichtigen.
- Bei den Zwischenfruchtgemengen in NÖ und OÖ haben sich je nach Standort unterschiedliche Gemengepartner besser entwickelt und haben mehr zum Gesamt-Biomasseertrag beigetragen. In NÖ sind bei schwierigen Keimbedingungen manche Arten gar nicht aufgelaufen. Die Ergebnisse sprechen dafür, in Zwischenfruchtgemengen mehr Mischungspartner einzubinden, um das Risiko einer schlechten Entwicklung der Zwischenfrüchte zu minimieren. Zusätzlich unterscheiden sich die verschiedenen Zwischenfruchtarten in ihrer Wurzelmorphologie, ein wichtiger Faktor für die P-Mobilisierung.
- Beim Wintergetreide zur Ernte 2023 lagen die P-Gehalte im Weizenkorn im Mittel über alle Praxisversuche und Varianten bei 3,7 g kg⁻¹, die P-Abfuhr über das Weizenkorn wurde vor allem vom Kornertrag bestimmt. Die mittleren TM-Kornerträge der Versuche waren sehr unterschiedlich und lagen zwischen 1260 und 4800 kg ha⁻¹, dementsprechend schwankte auch die P-Aufnahme und P-

Abfuhr mit dem Weizenkorn zwischen 5,0 und 15,8 g kg⁻¹. Zwischen den Varianten der Versuche wurde sowohl beim Kornertrag als auch bei der P-Aufnahme nur geringe Unterschiede festgestellt.

- Bei den Ergebnissen zum wasserlöslichen P im Boden zeigte sich bei allen Praxisversuchen ein ähnliches Bild mit meist abnehmenden Gehalten im Vegetationszeitraum des Wintergetreides und ansteigenden Gehalten hin zum Umbruch der Zwischenfrucht des Jahres 2023, was auf eine höhere P-Aufnahme durch das Getreide und ein „Freiwerden“ von P nach Zwischenfruchtende hindeutet, wobei auch die Witterung für die Festlegung und Mobilisierung von P eine Rolle spielen kann. Zwischen den Varianten traten bisher nur geringe Unterschiede auf.
- Am Ende der Untersuchungsperiode zeigte sich deutlich, dass das Nicht P-mob. ZF-Gemenge sowohl auf den Standorten in NÖ als auch in OÖ zu geringeren Erträgen des nachfolgenden Körnermais geführt hat. Im Mittel wurde auf den Standorten in OÖ bei Körnermais Erträge von 6.151 – 6.464 kg ha⁻¹ bei den Nicht-P-mob. ZF-Gemengen im Vergleich zu 6.998 – 7.283 kg ha⁻¹ bei den P-mob. ZF-Gemengen erreicht. In NÖ war im Mittel ebenfalls der Kornmaisertrag beim Nicht P-mob. ZF-Gemenge mit 2.541 kg ha⁻¹ deutlich geringer als bei den P-mob. ZF-Gemenge mit 2.887-3.786 kg ha⁻¹. Das Nicht P-mob. ZF-Gemenge enthielt keine Leguminosen und war mit nur vier Arten weniger vielfältig als die gewählten P-mob. ZF-Gemenge. Die Spross- und Wurzelbiomasse in den Nicht P-mob. ZF-Gemengen dürfte im Vergleich zu den P-mob. ZF-Gemengen vor allem zu einer geringeren Stickstoffnachlieferung und -bereitstellung für die nachfolgende Hauptfrucht geführt haben. Denn trotz einer N-Ausgleichsdüngung zeigte sich bei allen drei Versuchen in OÖ wie bei den Versuchen in NÖ ein tendenzieller Ertragsvorteil beim Maiskornertrag der Varianten mit den P-mob. ZF-Gemenge und Leguminosen in der Mischung, im Vergleich zu den Nicht P-mob. ZF-Gemengen.
- Im Mittel über alle Versuche waren nur in OÖ beim Körnermais im Jahr 2024 Tendenzen hinsichtlich der positiven Wirkung von AKRA-Präparaten auf die P-Verfügbarkeit und die Erträge der Hauptkultur erkennbar, signifikante Unterschiede traten nicht auf.

- Durch die Düngung mit Struvit oder organischen Düngern kommt es zu einer Zufuhr von P von außen. Diese Zufuhr war deutlich in den Bodendaten (wasserlöslicher P, fraktionierte Analyse und P-Freisetzungsrate) zu sehen, sowohl beim Praxisversuch A. Konradsheim als auch beim Langzeitversuch (siehe AP4). Beim Praxisversuch Konradsheim war auch eine signifikante Wirkung auf den Sojakornertrag mit Struvit-Düngung feststellbar.

Insgesamt wird in Zusammenschau der Versuche in NÖ und OÖ die Wichtigkeit des Zwischenfruchtanbaus bestätigt. Ziel sollte eine gute Biomasseentwicklung der Zwischenfrüchte über eine vielfältige Mischung, die Anpassung an Standort und Fruchtfolge und einem sorgfältigen Anbau sein, um die Vorteile des Zwischenfruchtanbaus auch nutzen zu können. Alle Standorte zeigten bei den Bodenanalysen meist hohe P-Reserven, aber Schwächen beim pflanzenverfügbaren P, hier sind die Zwischenfrüchte ein wesentlicher Ansatzpunkt, um die P-Verfügbarkeit zu erhöhen.

Aus der Sicht der Autor:innen besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Thema P-Mobilisierung und P-Verfügbarkeit hinsichtlich

- der Anwendung von P-Recyclingdüngern in der biologischen Landwirtschaft (Ausbringungsmenge, -technik, -zeitpunkt, verschiedene Düngerarten usw.)
- der Zusammensetzung von vielfältigen Zwischenfrucht-Gemengen, angepasst an den Standort und an die Fruchtfolge in Bezug auf die P-Mobilisierung
- der Ermittlung der Wurzelbiomasse und den Nährstoffgehalten in den Wurzeln von Zwischenfrucht-Gemengen
- der P-Analyse im Boden – Evaluierung hinsichtlich der Interpretation der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Praxis
- geeignete, in der biologischen Landwirtschaft erlaubte Präparate zur Förderung der P-Mobilisierung im Boden

3.3. Handlungsempfehlungen für die Praxis

- Die **Nährstoffbilanzierung** auf Schlagebene ist eine wichtige Methode, um sich über die Wirkung von Kulturen und Düngung in der Fruchtfolge bewusst zu werden. Landwirte und Landwirtinnen bekommen so eine Vorstellung über die Größenordnung der Zufuhr und Abfuhr der wichtigsten Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium.
- Zusätzlich sollte über die **Phosphor-Bodenanalyse** der Schläge der verfügbare, nachlieferbare und gesamte Phosphorgehalt im Boden ermittelt werden. Es sind verschiedene P-Analysemethoden in Österreich möglich (AGES, Unterfrauner, Kinsey), die Einstufung der Ergebnisse von P-Analysen wird durch das im Projekt Phosver erstellte Einschätzungswerkzeug erleichtert.
- Die Checkliste zur **Einschätzung der Phosphor-Mobilisierung** bringt mehr Klarheit über die Einflussfaktoren auf die Phosphor-Mobilisierung bzw. P-Verfügbarkeit am eigenen Betrieb. Man kann daraus ableiten, welche Bewirtschaftungsmaßnahmen die P-Mobilisierung und welche nicht veränderbaren Standortfaktoren (Boden, Klima) den P-Haushalt beeinflussen.
- Durch eine ausreichende **Biomasseentwicklung einer Zwischenfrucht** (2-3 t/ha) werden hohe Mengen an Phosphor in der oberirdischen Biomasse gespeichert, zusätzlich wird auch in den Wurzeln ein ähnlich hoher Anteil an Nährstoffen gespeichert. Damit wird der P-Bedarf der Nachfrucht gut abgedeckt.
- Es gibt große Unterschiede in der **P-Aufnahme zwischen den Zwischenfruchtarten**. Auf den Versuchsstandorten haben sich Ramtillkraut, Öllein, Phacelia und Sudangras als Arten mit hohen P-Gehalten gezeigt. Eine Einbindung dieser Arten in Zwischenfruchtmischungen, abgestimmt auf den jeweiligen Standort und die Fruchtfolge, ist daher zu empfehlen.

- Auf eine **vielfältige, ausgewogene Zusammenstellung von Zwischenfrucht-Mischungen** ist großer Wert zu legen, diese sind auch auf die folgende Hauptfrucht abzustimmen. P-mobilisierende Zwischenfrucht-Gemenge mit Leguminosen und vielen Arten sind vorteilhafter als Mischungen mit Nicht-P-mobilisierenden Pflanzen und wenigen Arten. Durch die Vielfalt wird das Risiko für einzelne Zwischenfrucht-Arten geringer, außerdem sorgt die Artenvielfalt für eine vielfältige Durchwurzelung des Bodens, was wichtig für die P-Aufnahme ist, da der Phosphor im Boden wenig beweglich ist.
- Viele Versuchsstandorte im Phosver-Projekt haben **hohe P-Reserven im Boden**, aber Schwächen beim pflanzenverfügbaren P, hier sind die P-mobilisierenden Zwischenfrüchte ein wesentlicher Ansatzpunkt, um die P-Verfügbarkeit zu erhöhen.
- Die Wirkung von **Präparaten zur Förderung der P-Mobilisierung** ist nur schwer im Boden nachweisbar, es wurden nur teilweise positive Auswirkungen auf die Erträge beobachtet.
- Eine **P-Zufuhr über organische Dünger** wirkt positiv auf die P-Versorgung.
- Der P-Zufuhr über einen **P-Recyclingdünger** ist sinnvoll bei einem gezielten Einsatz zur Förderung der Jugendentwicklung und der Erträge der Kulturpflanzen, auf Standorten mit geringer P-Versorgung bzw. -nachlieferung. Dabei sind die Kosten für den Dünger und die zur Verfügung stehende Technik für die Ausbringung zu berücksichtigen.

4. Arbeitspaket 4 – Monitoring Langzeiteffekte

4.1. Versuchskonzept und Ziele

Die Untersuchungen erfolgten am Praxisforschungsbetrieb Rutzendorf im Marchfeld in Niederösterreich (GPS-Koordinaten 48.209042, 16.622520). Der Betrieb ist ein Teilbetrieb der Landwirtschaftlichen Bundesversuchswirtschaften GesmbH und wird seit dem Anbaujahr 2001/2002 biologisch bewirtschaftet. Im Jahr 2003 wurde ein Langzeitmonitoring mit Dauerversuchen auf den Schlägen des Betriebes eingerichtet,

wo Fragen des Nährstoffmanagements und des Schließens von Nährstoffkreisläufen im Vordergrund stehen.

Im Projekt „PhosVer“ im Arbeitspaket 4 wurden ausgewählte Untersuchungen des Langzeit-Monitorings weitergeführt. Geprüft wurden die Auswirkungen von vier organischen Düngungssystemen auf Pflanzenerträge und Nährstoffdynamik von Phosphor und Kalium.

Mit den Ergebnissen soll die P-Düngewirksamkeit von organischen Düngern und die Nährstoffmobilisierung aus den Bodenvorräten besser abgeschätzt werden. Die Erkenntnisse aus dem Langzeitversuch helfen Praxisbetrieben bei der Einschätzung ihrer Nährstoffstrategien und der Auswirkungen einer längerfristigen biologischen Bewirtschaftung.

Die organischen Düngungssysteme bzw. -varianten (DV) unterscheiden sich in viehlosen Systemen (DV1, DV2 und DV 4) und in ein viehhaltendes System (DV 3), die Fruchtfolge wird in allen Systemen gleich gestaltet:

DV 1 („nur Gründüngung“): entspricht einem viehlosen Ackerbaubetrieb; die zweijährige Luzerne wird gemulcht und als Gründüngung genutzt (*DV 1: „nur Gründüngung“*).

DV 2 („Gründüngung + Biotonnenkompost“): In DV 2 wird zusätzlich zur Luzerne-Gründüngung Biotonnenkompost äquivalent zum Phosphor-Entzug der Marktfrüchte zugeführt. Es erfolgt ein Import von organischer Substanz und Nährstoffen von außerhalb des Betriebssystems.

DV 3 („Futternutzung + Stallmist“): entspricht einem viehhaltenden System mit einem Rinderbestand mit 0,5 GVE/ha; Luzerne und Stroh (Getreide) werden abgeführt, Rindermist wird äquivalent zugeführt. Dadurch wird ein teilweiser innerbetrieblicher Kreislauf von Nährstoffen und organischer Substanz umgesetzt.

DV 4 („Futternutzung + Pflanzliche Biogasgülle“): Luzernegrünmasse wird für die Erzeugung von Biogasgülle (Gärrest) durch anaerobe Fermentation abgefahren. Dem Entzug äquivalente Mengen der Biogasgülle werden als Dünger auf die Flächen zurückgebracht. Umsetzung seit dem Jahr 2008.

Die Untersuchungen im AP4 fanden im Hauptversuch S1M des Langzeitmonitorings und zwei Referenzparzellen dazu statt (**Tabelle 18**). In diesem Versuch und den

Referenzparzellen wurden bisher neben den pflanzenbaulichen Erhebungen auch die bodenkundlichen Analysen durchgeführt.

Tabelle 18: Übersicht Versuchsflächen Monitoring Langzeiteffekte

Versuch	Beschreibung	Düngungs-varianten	Parzellen	Bodenbonität/ Ackerzahl	Bodenart	Bewirt- schaftung
S1M	Kleinparzellen- versuch	4	20	Mittel/77	Lehm	Biologisch (Schlag 1)
S1G	Referenz- parzelle	1	1	Gering/44	Sandiger Lehm	Biologisch (Schlag 1)
SK1 (MD)	Referenz- parzelle	1	1	Mittel/73	Lehm	Konventionell

Am Schlag 1 des Biobetriebes und in den Versuchsflächen darauf wurde seit dem Jahr 2003 folgende Fruchtfolge: 1. Jahr: Luzerne – 2. Jahr: Luzerne – 3. Jahr: Winterweizen + Zwischenfrucht - 4. Jahr: Körnermais – 5. Jahr: Sommergerste + Zwischenfrucht – 6. Jahr: Körnererbse + Zwischenfrucht – 7. Jahr: Winterweizen – 8. Jahr: Winterroggen umgesetzt. Die organische Düngung mit Biotonnenkompost (DV2), Stallmist (DV3) und mit Biogasgülle (DV4) erfolgte zu Körnermais und zu Winterweizen nach Körnererbse. Im Projekt PhosVer wurde folgender Fruchtfolgeausschnitt in der dritten Fruchtfolgerotation untersucht: Jahr 2022: Luzerne (2. Hauptnutzungsjahr), Jahr 2023: Winterweizen + Zwischenfrucht, Jahr 2024: Körnermais.

Der Kleinparzellenversuch S1M wurde seit dem Jahr 2003 bereits sechsmal mit Biotonnenkompost bzw. Stallmist und fünfmal mit Biogasgülle gedüngt. Im März 2024 vor dem Anbau von Körnermais erfolgte die letzte Düngung mit Biotonnenkompost, Stallmist und Pflanzlicher Biogasgülle (fest und flüssig). Die Ausbringungsmengen und Nährstoffgehalte sind in der **Tabelle 19** dargestellt. Der feste Gärrest wurde im März 2024, der flüssige Gärrest im Juni 2024 in den wachsenden Maisbestand ausgebracht.

Tabelle 19: Aufwandmengen und Nährstoffgehalte von Biotonnenkompost, Stallmist und Gärrest (Biogasgülle fest und flüssig) im Kleinparzellenversuch S1M für das Erntejahr 2024.

	Aufwandmengen (FM)	Gesamtstickstoff (N)	Gesamtposphor (P)	Gesamtkalium (K)	Organische Substanz	Gesamtkohlenstoff (C)	C/N Verhältnis
Düngungsvariante (DV)	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	
DV2: Biotonnenkompost	19118	147	29	175	2657	1543	15,2
DV3: Stallmist	27794	165	30	277	4840	2815	17,5
DV4: Gärrest (fest)	7647	37	21	46	1205	701	19,1
DV4: Gärrest (flüssig, Liter)	34550	128	3	192	606	353	2,8
DV4: Gärrest (gesamt)		165	24	238	1811	1054	

4.2. Ergebnisse

4.2.2. Pflanzenerträge

Über die zwei Luzernejahre (2022 und 2023) wurde ein Gesamtertrag von 126 dt/ha Trockenmasse festgestellt (Mittelwert über die DV 1 bis DV 4), was 74 % Ertrag im Vergleich zum langjährigen Mittel der Luzerneerträge in den Versuchen am Betrieb ausmacht. Die schwierige Etablierung der Luzerne und die ungünstigen Witterungsbedingungen waren dafür ausschlaggebend. Bei der DV 3 und der DV 4 wurden 55 % bzw. 63 % der Luzernebiomasse vom Feld abgefahren, der Rest blieb als Mulch am Feld.

Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten traten keine auf. Auffällig waren etwas höhere Ertragswerte bei der DV 2, was den bisherigen Trend dieser DV zu höheren Luzerneerträgen bestätigt (**Tabelle 20**). Die Luzerne hat eine hohe Bedeutung für die Stickstoff- und Humusversorgung für die ganze Fruchtfolge.

Tabelle 20: TM-Erträge (dt/ha) und Stickstofferträge (kg/ha) der Luzerne in zwei Hauptnutzungsjahren in Abhängigkeit ihrer Nutzungsform und der Düngungsvariante bzw. der Bodenbonität

DV	Bonität	Luzerne- nutzung	TM-Ertrag (dt/ha), Σ Jahre 2021 und 2022			N-Ertrag (kg/ha), Σ Jahre 2021 und 2022		
			nur Mulch	Mulch und Schnitt	Gesamt	nur Mulch	Mulch und Schnitt	Gesamt
DV 1 - GR	mittel	M	48,8 a	74,6 a	123,5 a	130 a	200 a	331 a
DV 2 - GR	mittel	M	58,2 a	76,9 a	135,2 a	140 a	217 a	357 a
DV 3 - GR	mittel	S	58,4 a	71,0 a	129,4 a	144 a	193 a	338 a
DV 4 - GR	mittel	S	42,6 a	73,1 a	115,7 a	106 a	187 a	292 a
DV 1 - GR	gering	M	64,8	59,9	124,7	148	182	330

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; DV 4: Biogasgülle; GR ... Grubber, PF ... Pflug; M...Mulchnutzung der Luzerne, S...Schnitt und Abfuhr der Luzernebiomasse

Aufgrund der optimalen Witterungsbedingungen im Frühjahr mit ausreichend Niederschlägen, der guten Stickstoffversorgung nach Vorfrucht Luzerne und der entsprechenden Bodenbedingungen fiel der Weizenkornenertrag auf den Versuchsflächen im Jahr 2023 sehr hoch aus (**Tabelle 21**). Zwischen den Kornenerträgen der Düngungsvarianten 1 bis 4 wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt. Der Kornenertrag der DV1 mit geringer Bodenbonität lag hingegen deutlich unter den Erträgen der DV bei mittlerer Bodenbonität. Bei den N- und P-Gehalten waren die Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten ebenfalls gering und nicht signifikant. Aufgrund des höheren Kornertages und des etwas höheren N-Gehaltes lag die N-Aufnahme in der DV2 signifikant höher als bei den DV1 und 4. Bei der P-Aufnahme wurden hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den DV festgestellt. Insgesamt war die N-Aufnahme mit 112 bis 138 kg ha⁻¹ und die P-Aufnahme mit 25 bis 28 kg ha⁻¹ im Weizenkorn sehr hoch.

Tabelle 21: TM-Ertrag und N- und P-Aufnahme des Winterweizens (Korn) im Jahr 2023 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.

DV	Bonität	TM-Ertrag kg ha ⁻¹		N %		P %		N-Aufnahme kg ha ⁻¹		P-Aufnahme kg ha ⁻¹		CN- Verhältnis
Korn												
DV 1 - GR	mittel	7172	a	1,77	a	0,36	a	126,8	a	26,1	a	23,4
DV 2 - GR	mittel	7497	a	1,84	a	0,37	a	138,1	b	27,8	a	22,4
DV 3 - GR	mittel	7323	a	1,79	a	0,37	a	131,1	ab	27,6	a	23,1
DV 4 - GR	mittel	7040	a	1,76	a	0,37	a	124,1	a	26,0	a	23,4
DV 1 - GR	gering	6485		1,73		0,38		112,1		24,7		24,2

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; DV 4: Biogasgülle; GR ... Grubber

Ganz anders war die Witterungssituation für die Entwicklung der Zwischenfrucht. Sehr trockene und heiße Bedingungen vor allem im September führten zu einem sehr geringen Biomasseaufwuchs in allen Varianten zwischen 287 und 434 kg/ha (**Tabelle 22**). Angebaut war eine Mischung aus Leguminosen (Ackerbohne, Platterbse und Sommerwicke) und Nicht-Leguminosen (Phacelia, Senf und Kresse). Aufgrund der geringen Erträge sind auch die aufgenommenen Nährstoffmengen mit im Mittel über die Varianten von 9 kg N ha⁻¹ und unter 1 kg P ha⁻¹ zu vernachlässigen. Zwischen den Varianten wurden bei allen Parametern keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Tabelle 22: TM-Ertrag und N- und P-Aufnahme der Zwischenfrucht (Korn und Stroh) im Jahr 2023 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.

DV	Bonität	TM-Ertrag kg ha ⁻¹		N %		P %		N-Aufnahme kg ha ⁻¹		P-Aufnahme kg ha ⁻¹		CN- Verhältnis	CP- Verhältnis
Zwischenfrucht													
DV 1 - GR	mittel	287	a	2,67	a	0,17	a	7,6	a	13,7	a	12,7	197,4
DV 2 - GR	mittel	396	a	2,57	a	0,18	a	10,0	a	11,7	a	12,5	176,6
DV 3 - GR	mittel	417	a	2,43	a	0,19	a	9,7	a	15,4	a	12,2	152,3
DV 4 - GR	mittel	351	a	2,43	a	0,17	a	7,8	a	14,5	a	12,7	181,0
DV 1 - GR	gering	484		2,30		0,17		11,1		13,1		11,8	161,6

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; DV 4: Biogasgülle; GR ... Grubber

Bei den Kornerträgen lagen die Varianten DV1-GR, DV3-GR und DV4-GR auf ähnlichem Ertragsniveau zwischen 7.408 und 7.706 kg/ha. Bei DV1 erfolgte keine organische Düngung, DV3 wurde mit Stallmist Ende März und DV4 mit festem Gärrest ebenfalls Anfang März und flüssigem Gärrest Mitte Juni gedüngt. Die positiven Auswirkungen der Düngung auf den Kornertrag waren im Vergleich zur DV1 gering, deutlicher waren die Auswirkungen auf den Strohertrag mit ca. 1.500 kg/ha mehr Biomasse dieser Varianten im Vergleich zur DV1 (**Tabelle 23**).

Auffällig ist, dass die Düngung mit Biotonnenkompost Anfang März beim Kornertrag der DV2-GR einen negativen Effekt mit geringeren Erträgen im Vergleich zur DV1 und DV3 und DV4 bewirkte, die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Ursache dafür könnte eine Stickstoffsperre im Boden durch die Kompostausbringung sein. Der Bodenstickstoff wird hier für den weiteren Abbau des organischen Kohlenstoffs im Kompost genutzt und es ist weniger Stickstoff pflanzenverfügbar. Bei einer Düngung mit Biotonnenkompost im Frühjahr vor Mais ist daher Vorsicht geboten. Eine zusätzliche geringe N-Gabe über Biogasgülle, oder den Kompost bereits zur Zwischenfurcht vor dem Maisanbau auszubringen wäre, zu empfehlen.

Negativ auf den Korn- und Strohertrag wirkte sich die geringe Bodenbonität bei der Variante DV1-GR aus. Positiv mit deutlich höchstem Kornertrag mit 8.751 kg/ha war der Einsatz des Pfluges zur Grundbodenbearbeitung zu bewerten.

Die Unterschiede in der Nährstoffaufnahme im Korn und Stroh des Mais zwischen den Versuchsvarianten werden vor allem von den TM-Erträgen bestimmt, da die Nährstoffgehalte zwischen den Varianten sehr ähnlich sind (**Tabelle 23**). Bei allen Parametern konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten bei mittlerer Bodenbonität festgestellt werden. Die DV1 bei geringer Bodenbonität weist die höchsten P-Konzentrationen auf und konnte daher trotz geringerer Erträge eine ähnlich hohe P-Aufnahme wie bei den Varianten bei mittlerer Bodenbonität erzielen.

Die N-Gehalte im Korn und im Stroh waren sehr hoch, was zu einer mittleren N-Aufnahme über alle Varianten von 97 kg/ha im Korn und von 63 kg/ha im Stroh (in Summe 160 kg/ha) führte. Die hohen N-Gehalte bestätigen auch die gute N-Versorgung des Standorts über die Bodenbedingungen (hohe Humusgehalte) sowie die Fruchtfolge und Düngungsmaßnahmen. Beim Phosphor wurde über Korn und

Stroh im Mittel 16,8 kg/ha aufgenommen, wobei im Korn alleine 13,7 kg/ha Phosphor gespeichert wurden.

Tabelle 23: TM-Ertrag und N- und P-Aufnahme von Körnermais (Korn und Stroh) im Jahr 2024 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.

DV	Bonität	TM-Ertrag kg ha ⁻¹		N %		P %		N-Aufnahme kg ha ⁻¹		P-Aufnahme kg ha ⁻¹		CN- Verhältnis
Korn												
DV 1 - GR	mittel	6371	a	1,58	a	0,22	a	99,6	a	13,7	a	27,6
DV 2 - GR	mittel	5402	a	1,65	a	0,22	a	89,3	a	11,7	a	26,4
DV 3 - GR	mittel	6609	a	1,62	a	0,23	a	107,2	a	15,4	a	26,9
DV 4 - GR	mittel	6628	a	1,57	a	0,22	a	103,7	a	14,5	a	27,8
DV 1 - GR	gering	5224		1,60		0,25		83,7		13,1		27,3
Stroh												
DV 1 - GR	mittel	5244	a	1,05	a	0,05	a	55,0	a	2,8	a	43,3
DV 2 - GR	mittel	5519	a	1,23	a	0,06	a	67,5	a	3,2	a	36,8
DV 3 - GR	mittel	6620	a	1,03	a	0,05	a	68,4	a	3,6	a	44,0
DV 4 - GR	mittel	6442	a	1,04	a	0,05	a	66,9	a	3,1	a	44,2
DV 1 - GR	gering	4820		1,13		0,06		54,4		3,1		40,1

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; DV 4: Biogasgülle; GR ... Grubber

4.2.3. Bodenanalysen

Im April 2024 wurden im Versuch S1M und den Referenzparzellen S1G und SK1 (MD) Bodenproben gezogen. Die Referenzfläche SK1 (MD) ist eine Parzelle mit konventioneller Bewirtschaftung und Mineraldüngereinsatz auf mittlerer Bodenbonität. DV2, DV3 und DV4 wurden im März mit Biotonnenkompost, Stallmist bzw. Gärrest fest gedüngt.

Die Bodenreaktion (pH-Werte gemessen in CaCl_2) liegt bei allen Varianten bei 7,6 bis 7,7 und ist als alkalisch einzustufen (BMLRT 2022). Die P_{CAL} -Werte („pflanzenverfügbarer“ Phosphor) liegen bei allen Varianten im unteren Bereich der Gehaltsklassen C – ausreichend (47-111 mg P/kg, BMLRT 2022). Die Referenzparzelle MD (Mineraldünger) weist geringfügig höhere Werte auf. Zwischen den DV1-DV4 waren keine statistischen Unterschiede beim P_{CAL} festzustellen. Die K_{CAL} -Gehalte („pflanzenverfügbares“ Kalium) befinden sich im Bereich der

Gehaltsklasse C – ausreichend bei schweren Böden (138-245 mg K/kg, BMLRT 2022). Die C_{org} -Gehalte und die Gesamt-N-Gehalte (N_t) liegen bei den biologisch bewirtschafteten Varianten im Bereich von 2,22 bis 2,37 % bzw. 0,19 bis 0,22 %, die konventionelle Referenzfläche weist bei beiden Parametern geringere Werte auf. Die DV2 (Biotonnenkompost) unterscheidet sich bei der C_{org} - und N_t -Gehalten signifikant von den DV1 und 4, bei den K_{CAL} -Werten weist die DV3 im Vergleich zu den DV1 und 4 signifikant höhere Werte auf. Die DV2 und die DV3 unterscheiden sich bei allen Bodenparametern hingegen nicht signifikant voneinander (**Tabelle 24**).

Tabelle 24: Bodenparameter im Frühjahr 2024 in 0-30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.

DV	Bonität	pH-Wert	PCAL-Gehalt (mg/kg)	KCAL-Gehalt (mg/kg)	C_{org} -Gehalt (%)	Gesamt-N-Gehalt (%)	CN-Gehalt
DV 1 - GR	mittel	7,58 a	50 a	135 a	2,24 a	0,203 a	11,1 a
DV 2 - GR	mittel	7,58 a	56 a	197 bc	2,37 b	0,215 b	11,0 a
DV 3 - GR	mittel	7,60 a	55 a	217 c	2,29 ab	0,208 ab	11,0 a
DV 4 - GR	mittel	7,60 a	50 a	148 ab	2,22 a	0,201 a	11,0 a
DV 1 - GR	gering	7,65	49	149	2,24	0,190	11,8
MD	mittel	7,71	78	147	1,97	0,167	11,8

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; DV 4: Biogasgülle, MD: Mineraldüngung; GR ... Grubber

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Die **Abbildung 1** und **Abbildung 2** zeigen die Entwicklung der P_{CAL} - und K_{CAL} -Gehalte seit dem Jahr 2003 in den verschiedenen Düngungsvarianten. Bei den Phosphor-Gehalten weisen alle Varianten einen negativen Trend auf, am stärksten bei der geringen Bodenbonität S1G mit der DV1. In den Jahren 2005/06, 2013/14 und 2021/22 stand jeweils die zweijährige Luzerne am Feld. Die höheren Phosphor-Werte in den Jahren 2007, 2015 und auch im Jahr 2024 könnten mit dem vorangegangenen Luzerneanbau zusammenhängen, wobei nicht bei allen Varianten dieser Ausschlag nach oben sichtbar war.

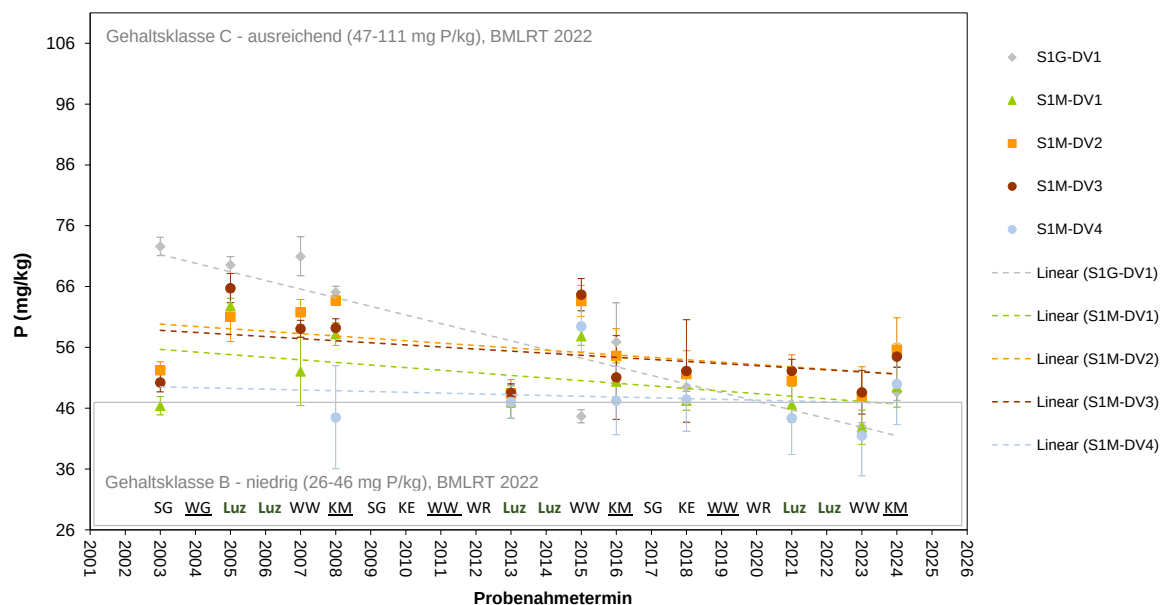


Abbildung 1: Entwicklung der P_{CAL} -Gehalte im Oberboden (0-30 cm) in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung in Fehlerbalken, $n=4$).

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung (GD), DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist, DV4: Biogasgülle (alle mittlere Bodenbonität), S1G-DV1: nur Gründüngung bei geringer Bodenbonität.

Die Kalium-Gehalte in den DV1 und DV4 (mittlere Bodenbonität) entwickelten sich sehr ähnlich mit abfallender Tendenz seit dem Jahr 2003. Den deutlichsten Rückgang verzeichnete die DV1 (bei geringer Bodenbonität), die von einem oberen Wert zu einem unteren Wert in der Gehaltsklasse C abfiel. Die Kalium-Gehalte in den DV2 und DV3 stiegen hingegen seit dem Jahr 2003 tendenziell an, was auf die Zufuhr von Kalium über den Biotonnenkompost und den Stallmist zurückzuführen ist.

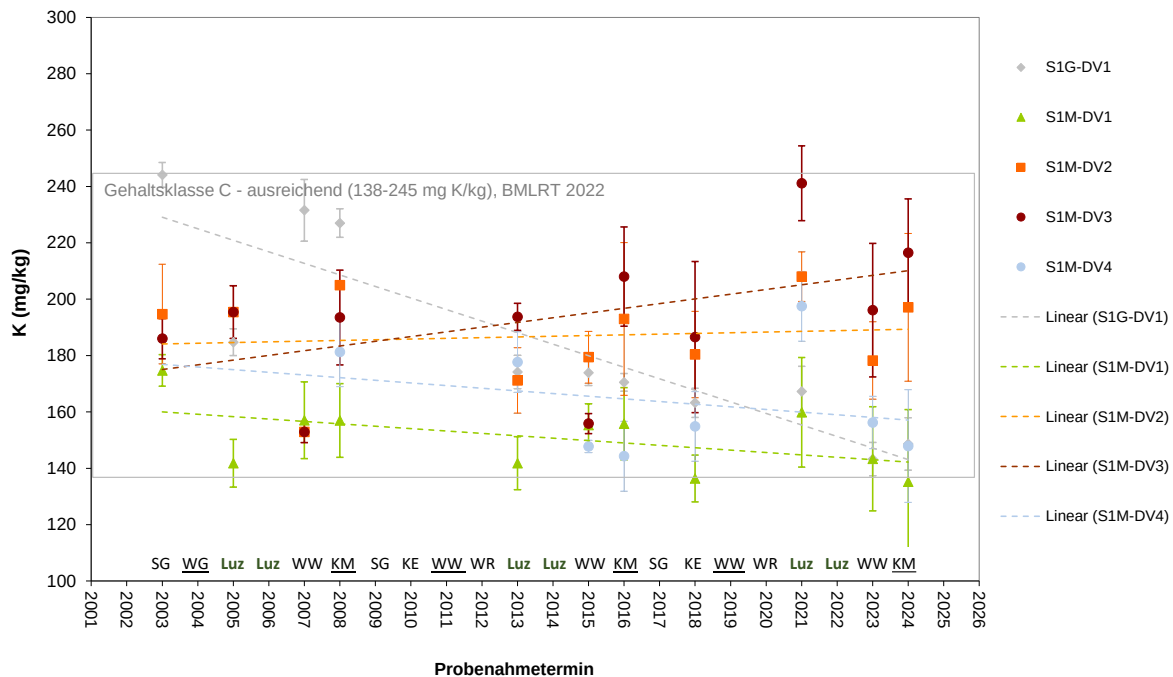


Abbildung 2: Entwicklung der K_{CAL} -Gehalte im Oberboden (0-30 cm) in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung in Fehlerbalken, $n=4$).

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung (GD), DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist, DV4: Biogasgülle (alle mittlere Bodenbonität), S1G-DV1: nur Gründüngung bei geringer Bodenbonität.

Die Untersuchungen zum pflanzenverfügbaren Phosphor nach P_{CAL} seit Versuchsbeginn im Jahr 2003 haben gezeigt, dass die P_{CAL} -Gehalte in den Jahren unmittelbar nach der zweijährigen Luzerne in der Fruchtfolge immer angestiegen sind. Dieser Umstand wird darauf zurückgeführt, dass die tiefwurzelnende Luzerne P aus dem Unterboden mobilisieren und aufnehmen kann und dieser dann über die Umsetzung der Pflanzenbiomasse der Luzerne wieder frei wird.

Bei der Entwicklung der Gehalte an wasserlöslichen P zeigte sich diese Entwicklung ebenfalls bei allen Versuchsvarianten (**Abbildung 3**). Die Luzerne wurde im Herbst 2022 umgebrochen und dann Winterweizen angesät. Die wasserlöslichen P-Gehalte stiegen kontinuierlich in allen Varianten mit der Spitze im Juni 2024 an. Die DV 2 und DV 3 mit Kompost- und Stallmistdüngung wiesen dabei immer die höchsten Werte auf. Der Einbruch im Juli 2024 kann auch auf den hohen P-Bedarf des Körnermais im Jugendstadium verstärkt durch die trockene und heiße Witterung in diesem Monat zurückgeführt werden. Zur Maisernte im Herbst 2024 stiegen die Gehalte wieder an und auch die Differenzierung zwischen Düngungsvarianten wurde ausgeprägter. Die im März 2024 mit Kompost, Stallmist und Gärrest (fest und flüssig) gedüngten

Varianten zeigten deutlich höhere Werte als die DV 1 bei mittlerer und geringerer Bodenbonität nur mit Gründüngung über den Luzernemulch.

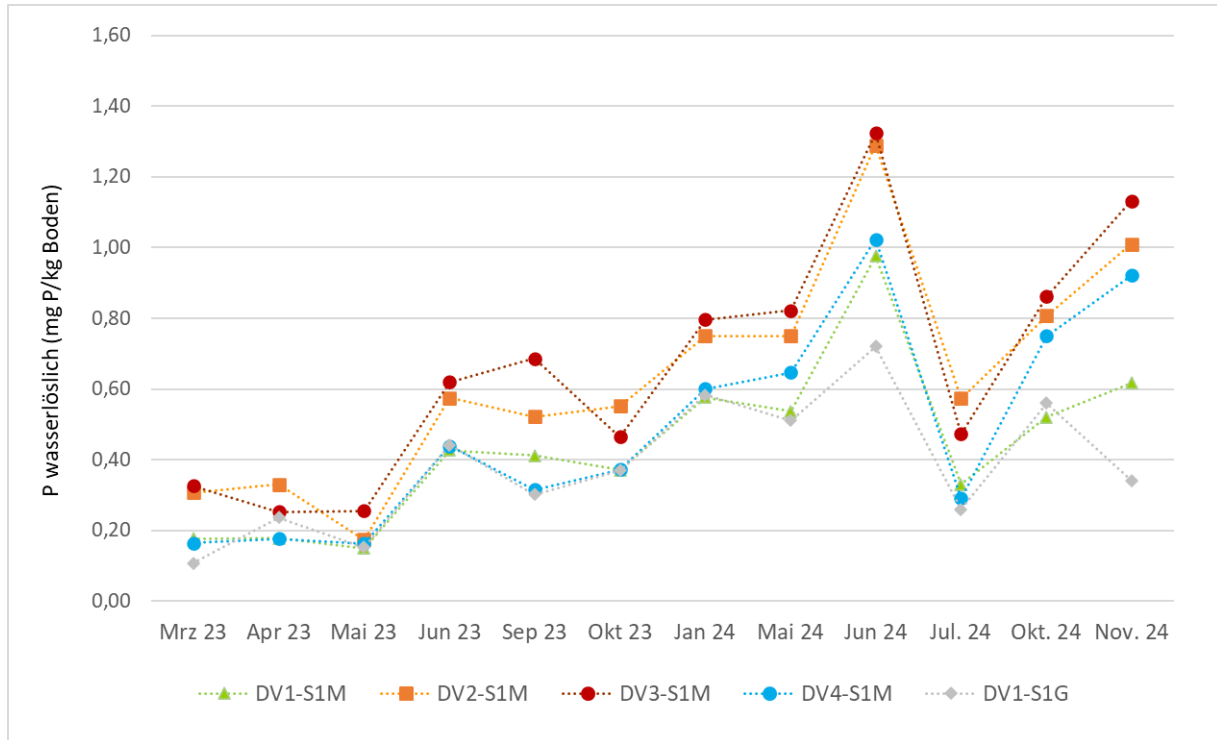


Abbildung 3: Entwicklung der Gehalte des wasserlöslichen Phosphors in 0-30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung (GD), DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist, DV4: Biogasgülle (alle mittlere Bodenbonität), S1G-DV1: nur Gründüngung bei geringer Bodenbonität.

Die Ergebnisse der Fraktionierten Bodenanalyse (Bodenprobenahme im Oktober 2024 nach der Körnermaisernte) zeigten, dass tendenziell auf den organisch gedüngten Varianten (DV 2, DV 3 und DV 4) etwas mehr austauschbarer Phosphor vorhanden war, als auf der reinen „Gründüngungsvariante“. Auch bei den anderen P-Fractionen (wasserlöslich, nachlieferbar, organisch und total) war ein leichter Trend zu höheren Werten bei den DV 2 und DV 3 mit der langjährigen Kompost- und Stallmisdüngung zu erkennen (**Tabelle 25**).

Tabelle 25: Phosphor Pools bei der Erstbeprobung und Abschlussbeprobung des Kleinparzellenversuches (kg/ha), Versuch S1M, DV1 (Variante 1) bis DV 4 (Variante 4)

Element	Verfügbarkeit	2023 Erstbepr.	2024 Variante 1	2024 Variante 2	2024 Variante 3	2024 Variante 4
P	wasserlöslich	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3
P	austauschbar	2	2	4	4	3
P	nachlieferbar	950	900	950	950	900
P	organisch	1222	1089	1128	1118	1093
P	total	2844	2543	2631	2630	2567

4.3. Fazit und Empfehlungen

- Der Versuchsstandort lieferte in den Jahren 2023 und 2024 hohe Erträge der Hauptfrüchte Winterweizen und Körnermais. Voraussetzung dafür sind entsprechende Witterungsbedingungen mit ausreichend Niederschlägen, gute Bodenbedingungen und eine gute Nährstoffversorgung. Die letzten zwei Punkte werden wesentlich von der Fruchtfolge und der Einbindung der Luzerne bestimmt, die hohe Mengen an Luftstickstoff bindet und eine ausreichende Humuszufuhr gewährleistet. Die C_{org} - bzw. Humusgehalte konnten auch seit Versuchsbeginn im Jahr 2003 bei allen Düngungsvarianten gesteigert werden, am stärksten bei den DV 2 und 3 mit Kompost- und Stallmistdüngung. Mit den Düngungen werden auch die Erträge positiv beeinflusst, wobei beim Kompost auf den richtigen Ausbringungszeitpunkt geachtet werden muss. Die Zwischenfrucht nach Winterweizen im Jahr 2023 lieferte hingegen, aufgrund starker Trockenheit nur einen schwachen Biomasseaufwuchs mit einem geringen Beitrag zur Nährstoffversorgung des nachfolgenden Winterweizens.
- Der Versuchsstandort weist bezüglich der Phosphor-Versorgung teilweise gut gefüllte P-Reserve Pools auf. Der pflanzenverfügbare P bzw. die Nachlieferung aus diesen Reservepools liegt hingegen im mittleren bis niedrigen Bereich. Ein Grund dafür sind die hohen pH-Werte und die stabile Bindung des Phosphors. Die Förderung der P-Nachlieferung über pflanzenbauliche Maßnahmen ist daher ständig notwendig und die Untersuchung lieferten auch wichtige Anhaltspunkte dafür:
- Bei den DV1-DV4 (mittlere Bodenbonität) und der Variante DV1 (geringe Bodenbonität) ist beim organischen Kohlenstoff (Humus), den Gesamtstickstoffgehalten und den

physikalischen Parametern eine positive Entwicklung seit Beginn der Umstellung auf die biologische Bewirtschaftung zu beobachten. Diese Parameter sind auch für die Nährstoffaufnahme und -nachlieferung wichtig, da Humus ein wichtiger Nährstoffspeicher ist und eine gute Bodenstruktur die Durchwurzelung fördert und die Wasseraufnahme erhöht.

- Eine Möglichkeit die hohen P-Vorräte des Bodens zu Nutzen und den Pflanzen zur Verfügung zu stellen, ist der Anbau von Luzerne. Nach dem Luzerneanbau war im ersten oder zweiten Jahr nach ihrem Umbruch jedes Mal ein leichter Anstieg der P_{CAL} -Werte im Boden zu beobachten. Dieser Anstieg bei allen DV war auch bei den Gehalten an wasserlöslichem P im Boden zu beobachten.
- Hinsichtlich der Phosphor-Mobilisierung ist bei der Luzerne von einer direkten und einer indirekten Wirkung auszugehen. Direkt wirkt die Luzerne über ihr sehr hohes P-Aufschließungsvermögen, weiters kann sie Phosphor aufgrund ihres tiefreichenden Wurzelsystems aus dem Unterboden mobilisieren, aufnehmen und in den Oberboden bringen. Die indirekte Wirkung besteht in ihrer hohen Zufuhr von organischer Substanz und der Luftstickstoffbindung und den damit verbundenen positiven Wirkungen auf Humusmenge, Wasserspeicherkapazität, Aktivierung der Bodenlebens oder der Verbesserung der Bodenstruktur, was wiederum die generelle Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanzen erhöht. Alle Kulturen, welche ein dichtes und tiefreichendes Wurzelsystem haben und die Bodenfruchtbarkeit verbessern, sind positiv für den Nährstoffhaushalt in Fruchtfolgen zu beurteilen.
- Hier ergibt sich auch ein wichtiger Ansatzpunkt für einen weiteren Forschungsbedarf zu der Frage, wie und mit welchen weiteren Kulturen neben der Luzerne man die Nährstoffvorräte, vor allem P, im Unterboden besser nutzen und verfügbar machen kann und welche weiteren Vorteile tiefwurzelnde Kulturen bieten (Schaffen von Bioporen, Verbesserung der Durchwurzelbarkeit des Bodens, usw.).
- Dass die Düngung mit Kompost und Stallmist eine Wirkung auf die P-Versorgung hat, zeigt sich tendenziell in den Nährstoffanalysen im Weizen, im Körnermais und der Zwischenfruchtbiomasse sowie in der Analyse des wasserlöslichen P im Boden, wo die DV2 und DV3 die höchsten Werte erreichten. Auch in den weiteren Bodenanalysen (P_{CAL} , P-Freisetzungsrates, fraktionierte P-Analyse) lagen die Werte der DV2 und DV3 tendenziell höher. Zu beachten ist, dass es bei der DV2 zu einer Zufuhr von Nährstoffen von außen mit dem Biotonnenkompost (DV2) kommt, während es sich bei der DV 3 um einen innerbetrieblichen Kreislauf mit geringer Zufuhr von Nährstoffen von außen handelt, aber trotzdem ein positiver Einfluss auf die P-Versorgung zu sehen war.

5. Literaturverzeichnis

BAJRAKTAREVIC, A. (2025): Validierung und Etablierung der Phosphatfreisetzungsrates (PFR) für österreichische Böden im Ackerbau und Grünland. AGES Studie, 1. Auflage.

BMLFRW (2023): Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 8. Auflage, aktualisierte Version 2023. Wien.

KERSCHBERGER, M., FRANKE, G. & HEß, H. (2001). Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. KOLBE, H., & KÖHLER, B. (2008). Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau. Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, (36), 1-253.

Kolbe, H. (2010): Phosphor und Kalium im ökologischen Landbau – aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien. http://orgprints.org/19354/1/P_K_Oeko10.pdf

Kolbe, H. (2015): Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt: Nährstoffversorgung und Humusstatus? https://orgprints.org/id/eprint/29539/1/Bodenfruchtbarkeit_%C3%96ko_BADVLK15.Pdf

Kolbe, H. (2019): Einfluss mineralischer P- und K- Düngung auf die Ertragsreaktion der Fruchtarten in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung des Bodens unter den Anbaubedingungen des ökologischen Landbaus in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen, 71, Band 6, Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart; 161 – 181.

STEIN-BACHINGER, D., BACHINGER, D., & SCHMITT, D. (2004). Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau-Ein Handbuch für Beratung und Praxis mit Anwendungs-CD.

Zorn, W. Schröter, H. & Kießling G. (2018): Fachinformation. Präzisierung des P-Düngebedarfs auf Ackerland durch zusätzliche Bestimmung der P-Freisetzungsrates. Hrsg.: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der P_{CAL} -Gehalte im Oberboden (0-30 cm) in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung in Fehlerbalken, $n=4$)..	41
Abbildung 2: Entwicklung der K_{CAL} -Gehalte im Oberboden (0-30 cm) in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität (Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung in Fehlerbalken, $n=4$)..	42
Abbildung 3: Entwicklung der Gehalte des wasserlöslichen Phosphors in 0-30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.....	43

7. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Meilensteine und Deliverables	3
Tabelle 2: Hauptziele im Projekt PhosVer.....	4

Tabelle 3: Versuchsvarianten Setting 1 – NÖ (kalkhaltig, trocken)	11
Tabelle 4: Zwischenfrucht-Gemenge Setting 1 – NÖ (kalkhaltig, trocken)	12
Tabelle 5: AKRA-Präparate in Variante 4	13
Tabelle 6: Mittlere Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2022 (oberirdische Biomasse) in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)	14
Tabelle 7: Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2023 (oberirdische Biomasse) in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)	15
Tabelle 8: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Wintergetreide Korn 2023 in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)	15
Tabelle 9: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Mais Korn 2024 in NÖ (Versuche Kögl, Zetner)	16
Tabelle 10: Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2023 (oberirdische Biomasse) in NÖ (Versuch Konradsheim)	17
Tabelle 11: Erträge, N- und P-Aufnahme in Soja Korn 2024 in NÖ (Versuch Konradsheim)	17
Tabelle 12: Versuchsvarianten Setting 2 – OÖ (kalkhaltig, feucht)	19
Tabelle 13: Zwischenfrucht-Gemenge Setting 2 – OÖ (kalkhaltig, feucht)	20
Tabelle 14: Mittelwerte Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2022 (oberirdische Biomasse) in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)	21
Tabelle 15: Mittelwerte Erträge, N- und P-Aufnahme in der Zwischenfrucht 2023 (oberirdische Biomasse) in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)	21
Tabelle 16: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Wintergetreide Korn 2023 in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)	23
Tabelle 17: Mittelwert Erträge, N- und P-Aufnahme im Mais Korn 2024 in OÖ (Versuche Diermayr, Musil, Lamm)	23
Tabelle 18: Übersicht Versuchsflächen Monitoring Langzeiteffekte	34
Tabelle 19: Aufwandmengen und Nährstoffgehalte von Biotonnenkompost, Stallmist und Gärrest (Biogasgülle fest und flüssig) im Kleinparzellenversuch S1M für das Erntejahr 2024	35
Tabelle 20: TM-Erträge (dt/ha) und Stickstofferträge (kg/ha) der Luzerne in zwei Hauptnutzungsjahren in Abhängigkeit ihrer Nutzungsform und der Düngungsvariante bzw. der Bodenbonität	36
Tabelle 21: TM-Ertrag und N- und P-Aufnahme des Winterweizens (Korn) im Jahr 2023 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität	37
Tabelle 22: TM-Ertrag und N- und P-Aufnahme der Zwischenfrucht (Korn und Stroh) im Jahr 2023 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität	37
Tabelle 23: TM-Ertrag und N- und P-Aufnahme von Körnermais (Korn und Stroh) im Jahr 2024 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität	39
Tabelle 24: Bodenparameter im Frühjahr 2024 in 0-30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität	40
Tabelle 25: Phosphor Pools bei der Erstbeprobung und Abschlussbeprobung des Kleinparzellenversuches (kg/ha), Versuch S1M, DV1 (Variante 1) bis DV 4 (Variante 4)	44