

Abschlussbericht

**Zwischenfruchtanbau –
Stickstoff nutzen, Wasser schützen**

Ergebnisse der Demonstrationsvorhaben zum Anbau von Gründüngungs- zwischenfrüchten: N-Konservierung, N-Nachlieferung und N-Dynamik im Boden von Herbst 2020 bis Frühjahr 2023 in Niedersachsen

Veranlassung:

An den Anbau von Gründüngungszwischenfrüchten (im Folgenden: Zwischenfrüchte) werden viele Erwartungen gestellt. Neben dem Schutz des Grundwassers vor unerwünschten Nährstoffeinträgen sollen sie dem Erosionsschutz dienen, Unkraut unterdrücken, Nematoden in Kartoffel- und Zuckerrübenfruchtfolgen bekämpfen und der Verbesserung der Bodeneigenschaften dienen. Der Auswahl geeigneter Zwischenfruchtarten sind in Hackfruchtfruchtfolgen aufgrund phytosanitärer Zusammenhänge Grenzen gesetzt. So ist in Kartoffelfruchtfolgen Ölrettich die Zwischenfrucht der Wahl, da dieser die virusbedingte Eisenfleckigkeit, die durch das Tabak-Rattle-Virus (TRV) verursacht wird, nicht fördert (Benker, M., Hallmann, J., 2021). In Zuckerrübenfruchtfolgen ist neben Ölrettich auch besonders Senf geeignet, da beide Arten bei entsprechender Sortenwahl Nematoden reduzieren können (Landwirtschaftskammer, 2026). Ölrettich und Senf sind als Kruziferen für ihren hohen Stickstoffbedarf bekannt und entwickeln sich besonders auf leichteren Standorten mit niedrigen $N_{\min}$ -Werten nach der Ernte oftmals nur mit einer zusätzlichen Stickstoff- (N-) Versorgung ausreichend, um die an sie gestellten Anforderungen erfüllen zu können.

In Roten Gebieten gewinnen ungedüngte Zwischenfrüchte infolge des Anbaugeschäftes bei Ernte der Hauptfrucht vor dem 01.10. vor einer Sommerung an Bedeutung. Auf Böden mit geringem N-Nachlieferungsvermögen, geringem $N_{\min}$ -Rest nach Ernte der Vorfrucht ($< 40 \text{ kg N/ha}$) und Strohverbleib (v. a. Roggen- u. Weizenstroh) kann die Etablierung eines vitalen, multifunktionalen Bestandes ohne zusätzliche N-Düngung herausfordernd sein. Treffen diese drei Faktoren zu, ist die Etablierung eines gut entwickelten Bestandes von Nichtleguminosen (z. B. Ölrettich, Senf) aufgrund des geringen N-Angebotes im Boden wenig erfolgversprechend. Schlecht entwickelte Zwischenfruchtbestände aus Ölrettich und Senf beispielsweise erreichen früh die Blühphase, sodass durch die Samenbildung hervorgerufene Verunkrautung in der Folgefrucht weitere Maßnahmen zur Beseitigung nach sich ziehen kann. Auch sind schlecht entwickelte Zwischenfruchtbestände wenig geeignet, Unkraut zu unterdrücken oder andere pflanzenbauliche und phytosanitäre Ziele zu erfüllen. Um mit diesen Bedingungen umzugehen, muss eine neue Anbaustrategie etabliert werden.

Beschreibung des Versuches

Durch Strohmanagement und Bodenbearbeitung nach der Ernte nehmen Landwirt/-innen direkt Einfluss auf die Stickstoffmineralisierung im Boden. Das sind, neben dem Zwischenfruchtanbau in Mischungen mit Leguminosen, weitere Möglichkeiten, Stickstoff in das

System zu bringen bzw. vorhandenen zu mobilisieren. Leguminosen gehen eine Symbiose mit Knöllchenbakterien ein, die Stickstoff aus der Luft binden. Dieser Stickstoff wird im Laufe der Vegetation freigesetzt, so dass er der N-Versorgung der Leguminose und auch der nichtlegumen Mischungspartner dienen kann. In Wasserschutzgebieten wurde die



Verwendung von Leguminosen aufgrund dessen kritisch gesehen. Inzwischen ist der Maßnahmenkatalog der freiwilligen Vereinbarungen für Trinkwassergewinnungsgebiete in Niedersachsen angepasst worden und leguminosenhaltige Mischungen sind unter bestimmten Bedingungen zulässig (NLWKN, S. 5).

Um die Auswirkungen der N-Konservierung und N-Nachlieferung zu validieren, wurden die im Folgenden beschriebenen Versuche angelegt. Die Zwischenfrüchte wurden in Streifen auf Praxisflächen ausgesät. Zur Aufwuchsermittlung im November erfolgte eine in der Parzelle wiederholte, oberirdische Probenahme der Zwischenfrüchte.

Nach erfolgter Gewichtsbestimmung wurden Pflanzenproben zur Untersuchung auf Trockensubstanz, den Stickstoff- und den Kohlenstoffgehalt zusammen mit den $N_{\min}$ -Bodenproben (mineralischer Stickstoffgehalt in 0-90 cm Tiefe) zur LUFA Nord-West gegeben. Der $N_{\min}$ -Wert zu Versuchsbeginn wurde ebenso ermittelt wie die $N_{\min}$ -Werte ausgewählter Varianten im September und November. Das erste Versuchsjahr (Zwischenfruchtaussaat Sommer 2020) wurde vom Fachbereich Pflanzenbau der LWK Niedersachsen finanziert. In den Versuchsjahren zwei und drei (Zwischenfruchtaussaat 2021 und 2022) wurden die ergänzenden $N_{\min}$ -Untersuchungen durch die landesweiten Aufgaben nach § 28 NWG aus der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen ko-finanziert, um die N-Nachlieferung von Zwischenfruchtmischungen für die Bewirtschaftung in Trinkwassergewinnungsgebieten auch mehrjährig zu erfassen.

In der dargestellten Versuchsanlage wurden nach der Getreideernte verschiedene leguminosenhaltige Mischungen im Vergleich zu Strohmulch und Ölrettich in Reinsaat angebaut. Der Ölrettich wurde sowohl ungedüngt als auch mit 60 kg N/ha mineralisch gedüngt etabliert. Ein Teil der Varianten wurde nach Pflug-, der andere nach Grubbereinsatz (Versuchsjahre 2020 und 2021) ausgesät. An den Standorten Adenstedt und Halligdorf wurde auf einem Teil der Fläche das Stroh abgefahren (2020 und 2021).

Tabelle 1: Versuchsstandorte 2020/2021 bis 2022/2023 (P=Pflugsaat, M=Mulchsaat)

Standort	Landkreis/ Region	Bodenart	Boden- punkte	Pflugsaat/Mulchsaat		
				20/21	21/22	22/23
Adenstedt	Hildesheim	(h) sL	75	P, M	P, M	M
Bawinkel	Emsland	(h) l'S	31-35	-	-	M
Behrensen	Northeim	(h) sL	77	-	M	-
Dungelbeck	Peine	(h) sL	58	P, M	P, M	-
Halligdorf	Uelzen	(h) l'S	48	P, M	P, M	M
Koldingen	Hannover	(h) sL	75	-	P, M	M
Versuchsfeld Poppenburg	Hildesheim	(h) sL	85	-	-	M

- = kein Versuch angelegt

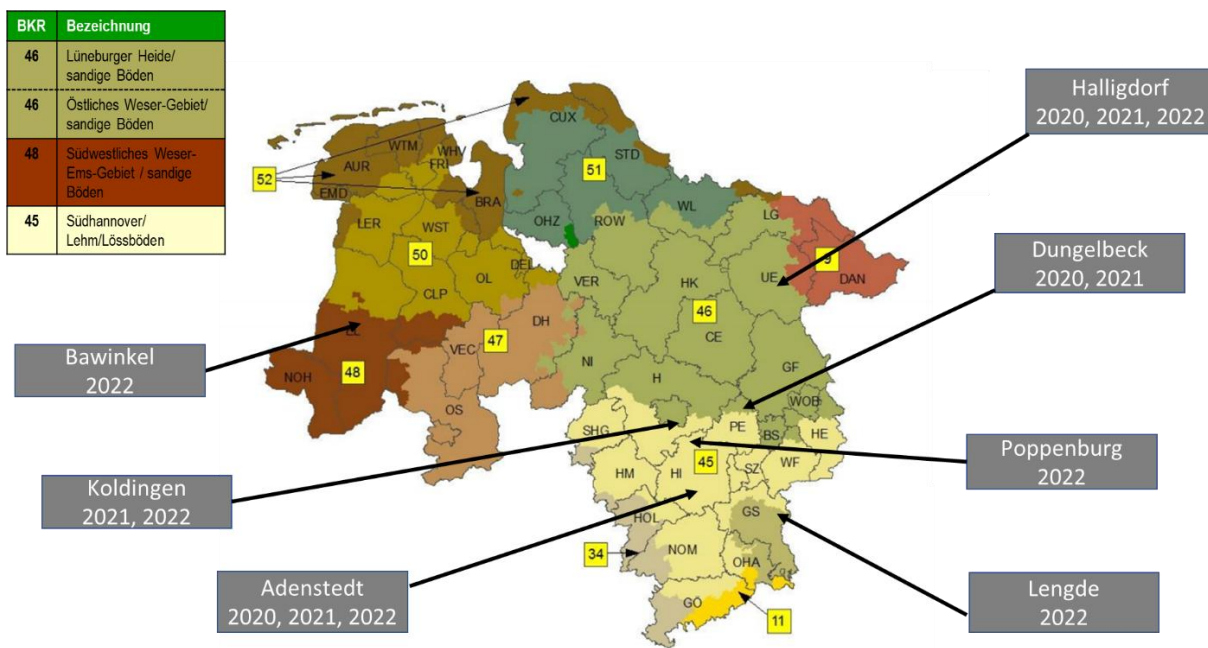


Abbildung 1: Versuchsstandorte 2020-2022, Darstellung verändert in Anlehnung an den Kartenserver des JKI: Boden-Klima-Räume Deutschlands

Kurzvorstellung Varianten

Tabelle 2: Übersicht der Varianten in den Versuchsjahren 2020/2021 bis 2022/2023

Varianten 2021/2022	Adenstedt			Halligdorf			Koldingen		
	20/21	21/22	22/23	20/21	21/22	22/23	20/21	21/22	22/23
Strohmulch (unbewachsen)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Ölrettich	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Ölrettich, gedüngt	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Ölrettich/Wicke 70/30	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Senf/Erbse/ Alexandrinerklee	✓	✓	ohne Klee		✓	ohne Klee		✓	Senf/ Ackerbohne
Ackerbohne/ Erbse	✓	✓	Ackerbohne/ Erbse/Wicke	✓	✓	✓		✓	reine Ackerbohne
Ölrettich/Wicke 60/40		✓			✓			✓	
Ölrettich/Wicke/ Rauhafer		✓			✓			✓	
Senf/Wicke		✓			✓			✓	
Ölrettich/Lupine		✓			✓			✓	
Ohne Kruziferen		✓			✓			✓	

Kernversuch (Übersicht der Varianten, die über alle drei Jahre durchgehend angelegt wurden) Aussaat 2020-2022:

- 1. Strohmulch:** Im Versuch dient die Variante „Strohmulch“ als Vergleichsvariante für die Bewertung der Effekte der Zwischenfrucht zu „ohne Zwischenfrucht“. Der Boden bleibt nach Ernte der Hauptfrucht Getreide ohne Bewuchs, u. U. wird eine flache Bodenbearbeitung notwendig, um auflaufendes Ausfallgetreide zu beseitigen. Auf Böden, die im Frühjahr bei Nässe nur schwer oder nicht zu bearbeiten sind, kann es zudem erforderlich sein, die Grundbodenbearbeitung bereits im Herbst durchzuführen. Besonders auf besseren, weniger auswaschungsgefährdeten Standorten stellt Strohmulch hinsichtlich des Etablierungserfolges der Folgekultur eine Alternative zum Zwischenfruchtanbau dar, zumal es hier in einer Vielzahl der Jahre nach Zwischenfrucht nicht verlässlich zu

Ertragsvorteilen in der Folgefrucht kommt. Auf leichten Böden mit geringem Nährstoffhaltevermögen und geringer N-Nachlieferung ist diese Variante nicht üblich.

2. **Ölrettich (ungedüngt):** Ölrettich als Zwischenfrucht wird in Reinsaat empfohlen, wenn in Kartoffel- und Zuckerrübenfruchtfolgen Nematodenbekämpfung betrieben werden soll. In Zuckerrübenfruchtfolgen ist auch Senf bzw. Ölrettich/Senf in Mischung möglich, in Kartoffel- fruchtfolgen jedoch nicht, da Senf (wie auch Phacelia) die



virusbedingte Eisenfleckigkeit fördern kann. Der Anbau von Ölrettich (oder Senf) ohne Düngung kann in verschiedenen Anbausituationen zu Beständen führen, die zwar Stickstoff im vorhandenen Maße aufnehmen, jedoch die weiteren erwarteten phytosanitären und Ökosystemleistungen wie Unkrautunterdrückung, Erosionsschutz, Biomassebildung und Kohlenstoffspeicherung aufgrund mangelnder Massebildung nur unzureichend erbringen. Dies ist insbesondere auf leichten, auswaschungsgefährdeten Standorten der Fall. Auf langjährig organisch gedüngten Böden sollte die N-Nachlieferung in der Regel dazu beitragen, die Pflanzen ausreichend mit Stickstoff zu versorgen. Dass dies nicht immer erfolgt, zeigen die folgenden Ergebnisse.

3. **Ölrettich (wie 2) (gedüngt):** Zwischenfrucht in Reinsaat mit 60 kg Gesamt-N/ha gedüngt (im Versuch mineralisch), nur außerhalb Roter Gebiete zulässig.



4. **Ölrettich/Wicke (70 % Ölrettich, 30 % Wicke):** Variante als Alternative zur N-Düngung zur Unterstützung der Entwicklung. Die Wicke ist nach aktuellen Erkenntnissen die beste Ölrettich-Mischungspartnerin in Kartoffelfruchtfolgen, da sie die virusbedingte Eisenfleckigkeit nicht fördert (Sorten) (Benker, M., 2021).



5. Ackerbohne/Felderbse: reine Leguminosenmischung, die mit dem Ziel angebaut wird, soviel N in das Anbausystem zu bringen, dass eine N-Düngung der Folgefrucht (z. B. Zuckerrübe) nicht oder nur in geringem Maße erforderlich wird. Aufgrund des hohen Potentials der N-Verlagerung ist diese Variante nur für bindungsstarke, nicht verlagerungsgefährdete, Standorte geeignet. Als Versuchsvariante wurde sie gewählt, um das Potential der möglichen Stickstoffbindung, -aufnahme und des N-Transfers in die Folgefrucht durch Zwischenfrüchte zu veranschaulichen. Zur Aussaat 2022 wurde die Mischung durch Wicke ergänzt, um das Aussaatgewicht zu reduzieren und um durch die Wicke eine bessere unkrautunterdrückende Wirkung zu erzielen.



Tabelle 3: Aussaatstärken, Zusammensetzung (in Prozent) und Eigenschaften der verwendeten Mischungen

Varianten 2021/2022									Abfrierverhalten
	Aussaatstärke (kg/ha)	Samenanteil	Anbaubedeutung/Eignung	geeignet für Fruchtfolgen mit	kruziferenhaltig	leguminosenhaltig	Leguminosenanteil (%)	Eignung für Rote Gebiete	
Strohmulch (unbewachsen)			Kontrolle						
Ölrettich	20-25		"bewachsene Kontrolle", alter Standard, leguminosenfrei	Kartoffeln, Zuckerrüben	+	-	0	(-)	-/o
Ölrettich, gedüngt	20-25			Kartoffeln, Zuckerrüben	+	-	0	-	-/o
Ölrettich/Wicke 70/30	43	70/30	besonders für Kartoffelfruchtfolgen, Auswirkungen der Anteile vergleichen	Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben	+	+	<30	+	-/o
Senf/ Erbse/ Alexandrinerklee	80	57/17/26	relativ sicher abfrierend, Zuckerrüben-Fruchtfolgen	Zuckerrüben, Mais	+	+	<30	+	o/+
Ackerbohne/ Erbse	120	50/50	Potenzial abstecken, auf schweren, nicht verlagerungsgefährdeten Böden interessant	Zuckerrüben, Mais	-	+	100	-	++
Ölrettich/Wicke 60/40	68	55/45	besonders für Kartoffelfruchtfolgen, Auswirkungen der Anteile vergleichen	Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben	+	+	>30	+	o/+
Ölrettich/Wicke/ Rauhafer	52	50/25/25	Bedeutung auf leichten Böden	Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben	+	+	<30	+	-/+
Senf/Wicke	59	50/50	relativ sicher abfrierend, Zuckerrüben-Fruchtfolgen	Zuckerrüben, Mais	+	+	>30	+	o/+
Ölrettich/Lupine	138	70/30	neue Variante, andere Leguminose	Kartoffeln, Zuckerrüben	+	+	=30	+	-/+
Ohne Kruzifere	15	30/30/20/20	fertige Mischung (Phacelia, Alexandrinerklee Öllein, Ramtilkraut), Rapsfruchtfolgen	Raps, Mais, Zuckerrüben	-	+	<30	+	o

Weitere Varianten Aussaat 2021:

Mit den vorgestellten Varianten 2-5 wird nur ein kleiner Teil des Möglichen im Rahmen des Zwischenfruchtanbaus abgedeckt, zumal das Artenspektrum eine Vielzahl weiterer abfrierender bzw. winterharter (hier nicht geprüfter) Zwischenfrüchte umfasst. Aus diesem Grund wurden im Aussaatjahr 2021 (mittleres Versuchsjahr, 1. Versuchsjahr mit zusätzlicher Finanzierung) verschiedene weitere Artenkombinationen und eine Mischung aus vier Arten getestet.

6. **Ölrettich/Wicke (60/40):** die Variante mit einem höheren Wickenanteil wurde geprüft, um herauszufinden, ob 10 % mehr Wicke in der Zwischenfruchtmischung zu höheren N-Aufnahmen führen als in der Variante „Ölrettich/Wicke 70/30“

7. **Ölrettich/Wicke/Rauhafer (50/25/25):** Kommt der Rauhaferanteil in der Mischung dazu, reduzieren sich sowohl die Ölrettich- als auch die Wickeanteile, wichtig ist, dass dennoch eine ausreichende Pflanzenzahl/m² steht. Auf leichten Böden in Kartoffelfruchtfolgen kann diese Mischung interessant sein, solange kein Druck durch TRV besteht.



8. **Senf/Wicke:** Senf spielt besonders in Zuckerrübenfruchtfolgen eine Rolle, wenn eine Nematodenbekämpfung gewünscht ist. In der Variante wird untersucht, ob sich Senf ebenso als Mischungspartner für Wicke eignet wie Ölrettich.



9. **Ölrettich/Lupine:** Lupine wird als weitere legume Komponente getestet. Auch für Kartoffelfruchtfolgen kann sie lt. der Untersuchungen der LWK NRW geeignet sein (Benker, M., 2021).



10. **Kruziferenfreie Mischung:** (30/30/20/20) da die übrigen Versuchsvarianten sehr kruziferenbetont sind, wird im Jahr 2021 eine kruziferenfreie Mischung in den Versuch aufgenommen, die aus Phacelia, Ramtillkraut, Alexandrinerklee und Öllein besteht. Sie bildet eine für Rapsfruchtfolgen geeignete Mischung ab.



Zudem wurden in allen Versuchsjahren Varianten zu einem späteren Aussaattermin im September angelegt. Hierfür wurden die Ölrettich/Wicke-Mischung, Senf oder im Aussaatjahr 2022 auch Hafer verwendet. Die Dünge-VO verlangt in Roten Gebieten den Anbau einer Zwischenfrucht, wenn die darauffolgende Sommerung gedüngt werden soll. Der Zwischenfruchtanbau muss immer dann erfolgen, wenn die vorhergehende Hauptfrucht bis zum 01.10. geerntet wurde. Um einen guten Aufwuchs zu generieren, empfiehlt sich eine möglichst frühe Aussaat nach Ernte der vorangegangenen Kultur. Aufgrund der kürzeren Vegetationszeit kann sich ein Zwischenfruchtbestand bei einer späteren Aussaat nicht so gut etablieren. Positive pflanzenbauliche Effekte können demnach vermindert sein. Eine frühe Aussaat ist zur Ausschöpfung des vollen Potentials einer Zwischenfrucht empfehlenswert. Zudem haben viele Arten, insbesondere Leguminosen, ab Mitte Juli bis Mitte August ihr optimales Aussaatfenster. Nicht zuletzt aus Kostengründen scheiden vielfältige, leguminosenhaltige Mischungen bei einer späten Aussaat aus. Nach Wegfall der Greeningvorgaben ist der Anbau von Getreide als Zwischenfrucht wieder möglich. Hafer bietet sich als sicher abfrierende, günstige Zwischenfrucht an. Ähnlich ist der Senf zu bewerten, er ist von allen Arten am spätsaatverträglichsten.

Beobachtungen und Ergebnisse

Mulchsaat versus Pflugsaat

Im ersten Aussaatjahr 2020 ging die Jugendentwicklung der Zwischenfrüchte nach Pflugfurche schneller vonstatten als bei in Mulch gesäten Zwischenfrüchten. Das führt zu einer früheren und somit besseren Unkrautunterdrückung. Dies lässt auf eine ggf. höhere Mineralisation schließen, die sich jedoch im Aufwuchs der Zwischenfrüchte am Standort Adenstedt (s. Tabelle 4) nicht widerspiegelt. In Halligdorf war der Aufwuchs nach Mulchsaat höher. Die N_{min} -Werte der Varianten im Herbst 2020 sind gering und unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander.

Tabelle 4: N_{min} -Werte und oberirdischer Frischmasseaufwuchs (dt/ha) einer Ölrettich/Wicke-Mischung nach Pflug oder in Mulchsaat etabliert (N_{min} -Werte 0-90 cm (kg N/ha), Werte in Klammern 0-30, 30-60, 60-90 cm), November 2020

Zwischenfruchtbeerntung und N_{min} -Proben November 2020	Adenstedt Aussaat 11.08.2020		Dungelbeck Aussaat 27.08.2020		Halligdorf Aussaat 23.08.2020	
	Frisch- masse (dt/ha)	N_{min} (kg N/ha)	Frisch- masse (dt/ha)	N_{min} (kg N/ha)	Frisch- masse (dt/ha)	N_{min} (kg N/ha)
Probenahmedatum	26.11.2020		02.12.2020		02.12.2020	
Ölrettich/Wicke Pflug mit Strohverbleib	237	18 (9/4/5)	k. A.	9 (3/3/3)		
Ölrettich/Wicke Mulchsaat mit Strohverbleib	238	15 (8/4/3)	84	11 (4/3/4)		
Ölrettich/Wicke Pflug ohne Strohverbleib					117	16 (7/4/5)
Ölrettich/Wicke Mulchsaat ohne Strohverbleib					198	18 (5/4/9)

Im zweiten Versuchsjahr (Abbildung 2) zeigten sich nach Pflug erhöhte N_{min} -Werte bei den unbewachsenen Parzellen. Auch hier könnte wie bereits 2020 ggf. eine höhere Mineralisation vorliegen, jedoch unterscheidet sich die N-Aufnahme ($N\text{-Aufnahme kg/ha} = TS\text{-Ertrag (dt/ha)} \cdot N\text{-Gehalt}$) der Zwischenfrüchte nach Pflug nicht von der nach Mulchsaat. Die N-Aufnahme liegt beim ungedüngten Ölrettich sogar unter dem Wert der Mulchvarianten (-10 kg N/ha). Da im Sommer/Herbst 2021 ausreichend Feuchtigkeit zur Verfügung stand, hat die Pflugsaat keinen Vorteil hinsichtlich eines höheren oberirdischen Aufwuchses gebracht.

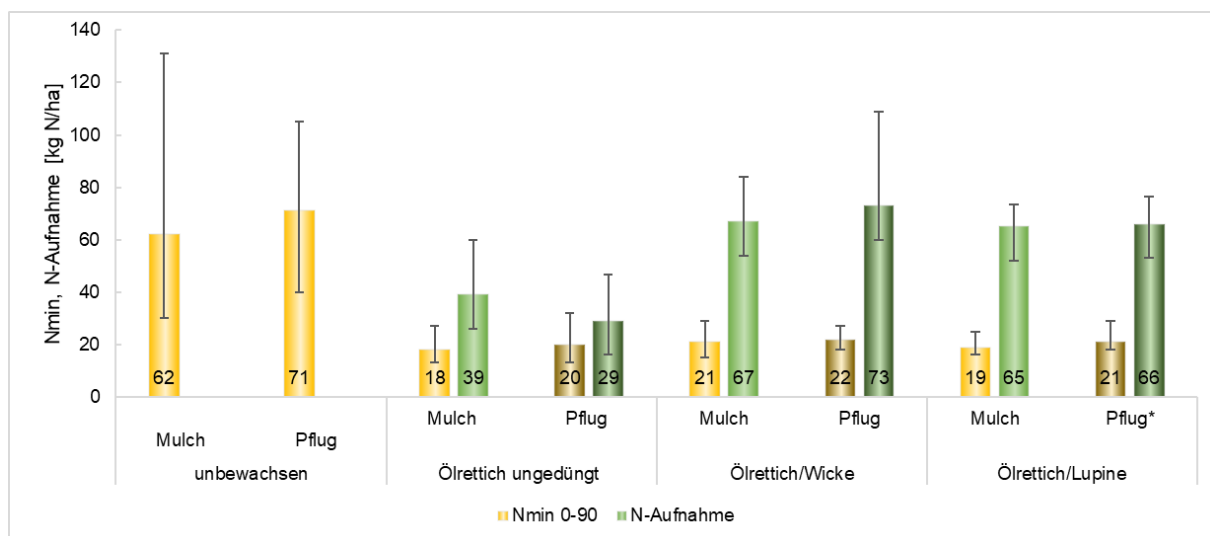


Abbildung 2: N_{min} -Werte (kg N/ha) November 2021, Mittelwert über 4 Standorte, Mulch- oder Pflugsaat (die Fehlerbalken geben den höchsten bzw. den niedrigsten Wert an)

Vergleich Strohabfuhr/Strohverbleib

Ob das Getreidestroh auf dem Acker verbleibt, hat einen wesentlichen Einfluss auf die N-Versorgung des folgenden Zwischenfruchtbestandes. Daher wurden auf einzelnen Standorten auch hierzu Vergleichsvarianten angelegt. Zum Aufbau der zum Strohabbau erforderlichen Mikroorganismen wird aufgrund des weiten C/N-Verhältnisses des Stroh Stickstoff benötigt. Dieser steht den Zwischenfrüchten für ihr Wachstum nicht zur Verfügung. Die Strohabfuhr erfordert eine Rückführung organischer Substanz, damit gerade bei Fruchtfolgen mit hohem Hackfruchtanteil die Humusbilanz ausgeglichen ist. Im Jahr 2020 war zu beobachten, dass sich auf der Fläche verbliebenes Stroh nachteilig auf die Jugendentwicklung der Zwischenfrüchte ausgewirkt hatte. Daher wurden in 2021 einige Varianten mit und ohne Strohverbleib angelegt. Bei der Auswertung der gemessenen N_{min} -Werte im Herbst 2021 in den Strohmulchparzellen zeigen sich kaum Unterschiede (Tabelle 5). 2021 hatte der Strohverbleib keinen Einfluss auf die Höhe des N_{min} -Gehaltes im Boden. Die N-Aufnahme der Zwischenfrucht war jedoch sowohl beim Ölrettich in Adenstedt als auch bei der Ölrettich-/Wicke-Mischung an beiden Standorten bei Strohabfuhr höher als bei Strohverbleib.

Tabelle 5: N_{min}-Werte und oberirdische N-Aufnahme (kg/ha) von Ölrettich (ungedüngt) und einer Ölrettich/Wicke-Mischung mit und ohne Strohverbleib in Mulchsaat etabliert (N_{min}-Werte 0-90 cm (kg N/ha), Werte in Klammern 0-30, 30-60, 60-90 cm), November 2021

Zwischenfruchtbeerntung und N _{min} -Proben November 2021	Adenstedt Aussaat 11.08.2021		Halligdorf 15.08.2021	
	N- Aufnahme (kg/ha)	N _{min} (kg N/ha)	N- Aufnahme (kg/ha)	N _{min} (kg N/ha)
Probenahmedatum	24.11.2021		23.11.2021	
Strohmulch mit Strohverbleib		131 (57/54/20)		37 (17/13/7)
Strohmulch ohne Strohverbleib		125 (69/42/14)		48 (23/17/8)
Ölrettich/Wicke mit Strohverbleib	63,8	29 (13/10/6)	83,7	16 (9/4/3)
Ölrettich/Wicke ohne Strohverbleib	92,1	27 (12/9/6)	125,8	15 (9/3/3)
Ölrettich mit Strohverbleib	53,1	27 (10/9/8)	60	13 (7/3/3)
Ölrettich ohne Strohverbleib	59,9	26 (12/8/6)	54,2	20 (14/3/3)

Ergebnisse N-Aufnahme und N_{min}-Werte (0-90 cm) zum Vegetationsende in den Jahren 2020-2022

Durch den Zwischenfruchtanbau sollen die N_{min}-Werte im Boden vor Beginn der Sickerwasserperiode im Herbst auf einem möglichst niedrigen Niveau liegen, wobei der Stickstoff in der oberirdischen Pflanzenmasse und den Wurzeln gehalten wird. In den Versuchen wurden zum Vegetationsende die oberirdische Pflanzenmasse sowie der Trockensubstanzgehalt (TS)- und Stickstoffgehalt bestimmt und hieraus die N-Aufnahme in kg/ha errechnet. Die N-Aufnahme ist einer der Parameter für den Erfolg der Variante, zumal der gebundene Stickstoff bei der Düngung der Folgefrucht z. T. angerechnet werden sollte. Niedrige N_{min}-Werte und hohe N-Aufnahmen sind demnach erstrebenswert im Zwischenfruchtanbau. In Abbildung 3 werden diese Parameter über die drei Versuchsjahre und alle Standorte gemittelt dargestellt:

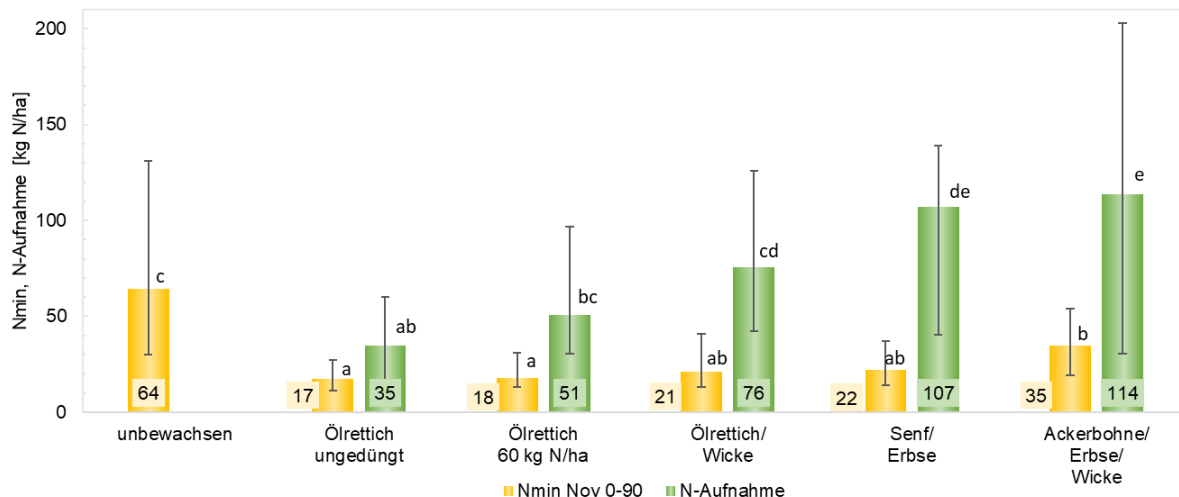


Abbildung 3: N_{min} -Werte und N-Aufnahme (kg N/ha) November 2020-2022, Mittelwerte über alle Standorte ($n=13$), Fehlerbalken zeigen den höchsten und den niedrigsten Wert an, Säulen mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p \leq 0,05$)

Die N_{min} -Werte sind im Durchschnitt aller Jahre und Standorte nach den Zwischenfrüchten im November in allen Jahren und auf allen Standorten sehr niedrig. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Ölrettich ungedüngt oder gedüngt war oder ob Leguminosen in den Mischungen enthalten waren. In die Mittelwerte sind die Daten der Kernvarianten von leichten und schweren Standorten eingeflossen, da es nur eine geringe Schwankungsbreite zwischen den Standorten und Versuchsjahren gab. Der signifikant höchste N_{min} -Wert findet sich in den unbewachsenen „Strohmulch“-Varianten mit 64 kg N_{min} /ha. Die reine Leguminosenmischung (Ackerbohne/Erbse/Wicke) weist vor Winter mit durchschnittlich 35 kg N_{min} /ha einen um 10-15 kg N/ha höheren N_{min} -Wert auf als die übrigen geprüften Zwischenfrucht-Varianten. Signifikant ist der Unterschied nur im Vergleich zum ungedüngten Ölrettich. Hinsichtlich der N-Aufnahme ist es zudem interessant, in welcher Höhe die Zwischenfrüchte Stickstoff aufgenommen haben, da dieser der Folgefrucht potenziell zur N-Versorgung dienen kann. Bei der Stickstoffaufnahme sind die Unterschiede zwischen den Varianten größer. Der Massenaufwuchs hängt in erster Linie von der Wasser- und der Stickstoffversorgung auf den Flächen ab. Die Versuchsjahre 2020 und 2022 zeichneten sich durch eine sehr regenarme Witterungsperiode im Spätsommer rund um die Zwischenfruchtaussaat aus. Die Stickstoffversorgung der Bestände ist unter den trockenen Bedingungen schwer sicher zu stellen, da dieser nicht ohne ausreichend Wasser aufgenommen werden kann. Auch die Pflanzenart spielt eine Rolle. Kruziferen wie Ölrettich und Senf haben wie beschrieben einen vergleichsweise hohen N-Bedarf, der häufig nicht allein aus dem Bodenvorrat gedeckt werden kann. In Roten Gebieten ist zum Zeitpunkt der Versuchsanlagen (2020-2022) die Düngung von Zwischenfrüchten mit Nährstoffträgern, die einen wesentlichen Gehalt an verfügbarem Stickstoff aufweisen, nicht erlaubt. Vor diesem Hintergrund wurde in den Versuchen untersucht, inwieweit legume Mischungsbestandteile dazu beitragen können, dass sich ohne

Düngung funktionale Bestände entwickeln. Die verschiedenen Leguminosenarten unterscheiden sich stark im Wachstum, so erreichen Erbsen und Ackerbohnen eine größere Wuchshöhe als Wicken und sind somit in Kombination mit Ölrettich weniger geeignet, da sie diesen überdecken. Es hat sich bewährt, Ölrettich mit Wicke und Senf mit Erbsen zu kombinieren. Die leguminosenhaltigen Mischungen haben im Mittel der Jahre häufig eine höhere Menge Stickstoff (75 - 100 kg N/ha im oberirdischen Aufwuchs) aufgenommen als ein gedüngter Ölrettich (51 kg N/ha).

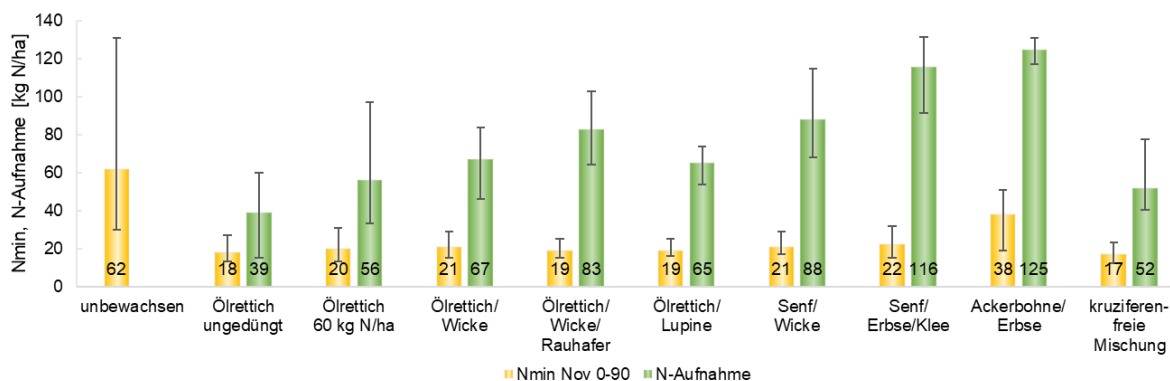


Abbildung 4: N_{min} -Werte (0-90 cm) und N-Aufnahmen (kg N/ha) November 2021, Mittelwert über 4 Standorte ($n=4$), Mulchsaat mit Strohverbleib, Fehlerbalken zeigen den höchsten und den niedrigsten Wert an

In Abbildung 4 sind exemplarisch die Ergebnisse sämtlicher Varianten, die im Jahr 2021 geprüft wurden, abgebildet. Auch die Varianten Ölrettich/Rauhafer/Wicke, Ölrettich/Lupine sowie Senf/Wicke hinterließen Ende November niedrige N_{min} -Werte im Boden und erreichten N-Aufnahmen zumindest in Höhe der Ölrettich/Wicke-Variante. Die Ölrettich/Wicke/Rauhafer-Variante ist in Kartoffelfruchtfolgen dann geeignet, wenn nicht von vornherein ein Befallsrisiko durch TRV besteht. Die Ölrettich-Lupinen-Variante zeigte ein inhomogenes Bild, die Lupine überwuchs den Ölrettich. Auf den schweren Standorten mit einem höheren Vorrat an Stickstoff setzte bei der Lupine zudem die Knöllchenbildung erst mit Verzögerung ein. Das liegt insbesondere daran, dass die Lupine bestimmte Rhizobienstämme benötigt, die nicht in jedem Boden vorhanden sind. Ein Impfen der Lupinensaat mit den geeigneten Rhizobien wäre möglich, erscheint jedoch aufgrund des Aufwandes und der Kosten nicht zielführend. Die Senf-Wicke-Mischung erzielte auch eine hohe N-Aufnahme im Vergleich zu den weiteren Varianten. Da der Senf größere Wuchshöhen erreicht als der Ölrettich, führte es in den Beständen dazu, dass die Wicke unterständig blieb. Für Senf ist daher für eine gute Etablierung der Zwischenfrucht die Erbse der geeignetere Mischungspartner.

Die kruziferenfreie Mischung blieb trotz des Kleeanteils in der N-Aufnahme etwas hinter dem gedüngten Ölrettich zurück und konnte nicht überzeugen. Um den N_{min} -Wert vor der Auswaschungsperiode abzusenken, ist aber auch diese Mischung geeignet.

N_{min}-Werte (0-90 cm) im Frühjahr nach Zwischenfrucht

Jedes Jahr im Frühjahr zur Düngebedarfsermittlung der Hauptfrucht stellt sich die Frage, in welcher Höhe und wann der von den Zwischenfrüchten aufgenommene Stickstoff der Hauptkultur zur Verfügung steht. Anders als bei der Aufwuchsmessung im Herbst können die Ergebnisse nun nicht mehr über die Standorte hinweg zusammengefasst werden. Im Folgenden werden Mittelwerte der einzelnen Standorte über die Versuchsjahre dargestellt. Standortliche Einflussfaktoren, wie Bodenart und Witterung (Winterniederschläge), müssen bei der Interpretation der ermittelten N_{min}-Werte berücksichtigt werden. Das lässt sich besonders an der Höhe der N_{min}-Werte auf unbewachsenen Flächen erkennen. Während auf den leichten, auswaschungsgefährdeten Böden die N_{min}-Werte, die in den dargestellten Versuchsanlagen zur Düngebedarfsermittlung im Frühjahr vor Zuckerrüben gezogen wurden, bei 20 kg N_{min}/ha oder niedriger liegen, können sie auf besseren, nachlieferungsstarken und weniger verlagerungsgefährdeten Böden zwischen 50 bis über 100 kg N_{min}/ha betragen, auch ohne Zwischenfrucht. Eine Verlagerung des Stickstoffs durch hohe Regenmengen in für die Pflanzenwurzeln nicht mehr erreichbare Tiefen findet auf den bindungsstarken Böden, die erheblich mehr Wasser speichern können, kaum statt. Die Böden waren im Versuchszeitraum November 2020 - Mai 2023 durch die langanhaltende Trockenheit so ausgetrocknet, dass die über Winter gefallenen Regenmengen zu wenig bis zu keinem Sickerwasseranfall geführt haben. Dies wird durch Untersuchungen des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie bestätigt. Im Rahmen des Feldversuchs zum Wasserschutz und Düngerecht am Standort Schickelsheim (pseudovergleyte Parabraunerde, Ut3) wurden in den Sickerwasserperioden von 2018/2019 bis 2021/2022 ebenfalls keine bzw. nur geringe Sickerwassermengen festgestellt. (LWK Ni & LBEG 2024).

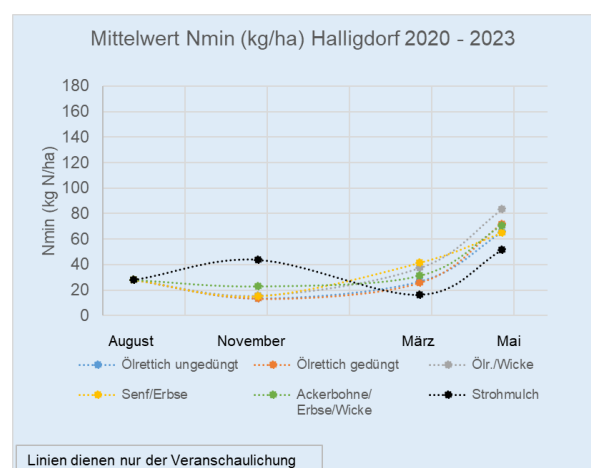
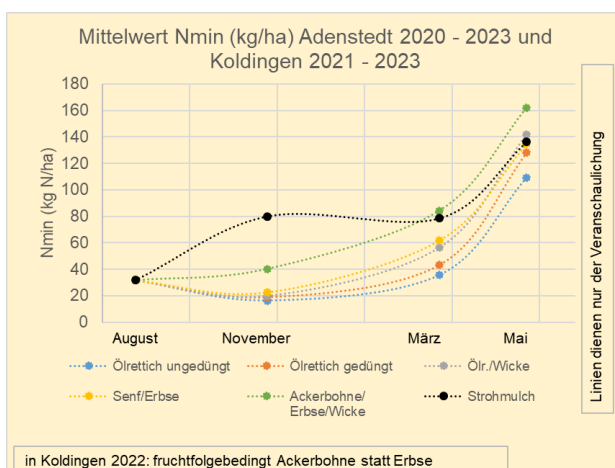


Abbildung 5: N_{min} (kg N/ha) November 2020 bis Mai 2023 im Vergleich auf schweren Böden, Süd-Ostniedersachsen (links, n=5)) und auf leichten Böden (rechts (n=3))

Auf dem leichten Boden in Halligdorf (Abb. 5) lagen alle N_{min}-Werte auf einem niedrigen Niveau, wobei ohne Bewuchs der Wert vom Herbst zum Frühjahr noch abgenommen hat

(Verlagerung in tiefere Bodenschichten). Mit Zwischenfrüchten stiegen die Werte zu den Probenahmeterminen März und Mai an. Auf allen Standorten liegen die $N_{\min}$ -Werte der leguminosenhaltigen Zwischenfruchtmischungen über denen des ungedüngten und des gedüngten Ölrettichs, wobei das Niveau auf den leichten Standorten niedriger ist als auf den schweren (Koldingen und Adenstedt). Zum Mai hin steigen die $N_{\min}$ -Werte bei steigenden Temperaturen durch Mineralisation an. Hierbei liegen die Werte nach leguminosenhaltigen Mischungen wiederum um 20-30 kg $N_{\min}$ /ha auf schweren und 10-20 kg $N_{\min}$ /ha auf leichten Standorten über der Strohmulch- und den Ölrettichvarianten. Dieser Stickstoff steht der Hauptkultur zur Verfügung und muss als Nachlieferung zur nachfolgenden Kultur in der Düngebedarfsermittlung berücksichtigt werden. Reine Leguminosenbestände, insbesondere nicht winterharte, sind für leichte Standorte nicht geeignet, da die Auswaschungsgefahr durch die vergleichsweise höheren N-Mengen steigt. Eine detaillierte Darstellung aller Ergebnisse der Herbst- $N_{\min}$ -Werte 2022 lesen Sie im Teil 2 des Jahres 2022 der [Vorabveröffentlichung der Ernte-Nmin-Werte 2020-2025 : Landwirtschaftskammer Niedersachsen](#)

Im Rahmen der landesweiten Aufgaben nach § 28 NWG werden an zwei weiteren Standorten (Landkreis Ammerland und Region Hannover) mehrjährige Feldversuche zum Wasserschutz und Düngerecht mit Fragestellung zur Höhe der oberirdischen N-Konservierung und der N-Nachlieferung der Zwischenfrucht im Auftrag des Landes Niedersachsen durchgeführt: [Wasserschutz / Versuche Wasserschutz & Düngerecht : Landwirtschaftskammer Niedersachsen](#)

Einfluss des Umbruchtermins auf die Höhe der $N_{\min}$ -Werte (0-90 cm):

In allen Versuchsjahren wurden verschiedene Umbruchvarianten angelegt, um den Einfluss des Termins und der Art der Beendigung des Wachstums der Zwischenfrüchte auf das Absterbeverhalten und die $N_{\min}$ -Werte im Frühjahr zu überprüfen. Im Versuchsjahr 2022/23 wurden diese Untersuchungen im Rahmen der landesweiten Aufgaben nach § 28 NWG kofinanziert.

Je nach zur Verfügung stehenden Geräten und Witterung kamen verschiedene Umbruchvarianten zum Einsatz:

- Mulchen im November
- Mulchen und Grubbern im November
- Einsatz einer Cambridgewalze bei Frost
- Mulchen ab 15. Januar
- Mulchen und Grubbern ab 15. Januar
- Umbruch und Einarbeitung zur Aussaat der Folgefrucht.

Die Varianten wurden bonitiert, indem der Absterbegrad/der Begrünungsgrad der kompletten Parzelle erfasst wurde. Das Ergebnis kann für alle Standorte wie folgt zusammengefasst werden: Die sicherste Art, eine Zwischenfrucht zu beseitigen, ist die Kombination aus Mulchen und Grubbern. Auch der Einsatz einer Cambridgewalze bei Frost führt zu guten Ergebnissen.

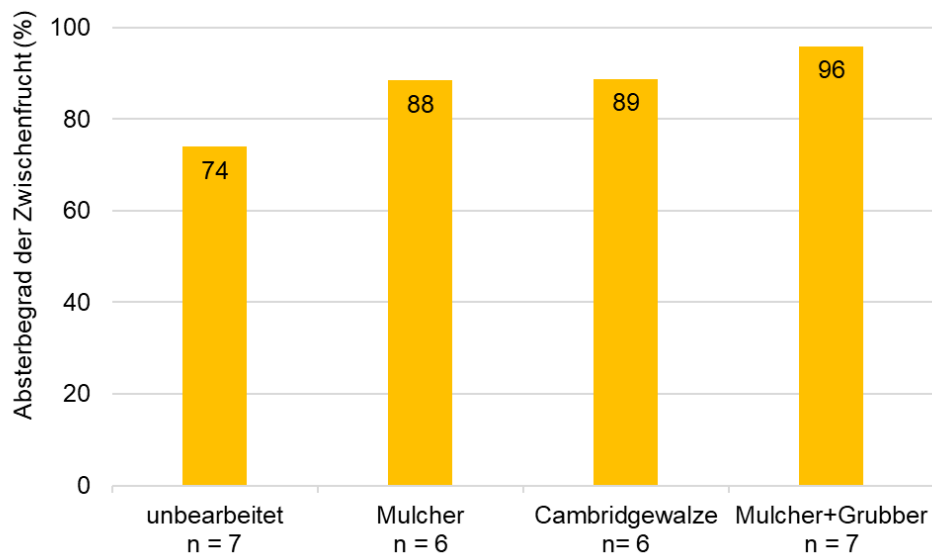


Abbildung 6: Absterbegrad (%) verschiedener Zwischenfrüchte über Winter 2020/21 bis 2022/23 nach Bearbeitung

Auch durch die Wahl einer geeigneten Zwischenfruchtart kann das Absterbeergebnis beeinflusst werden. So sterben nicht winterharte Leguminosen wie Ackerbohne und Erbse im Laufe des Winters auch ohne Frost sicher ab, der Ölrettich verbleibt bei ausbleibendem Frost bis ins Frühjahr vital (Arbeitsgemeinschaft, 2024).

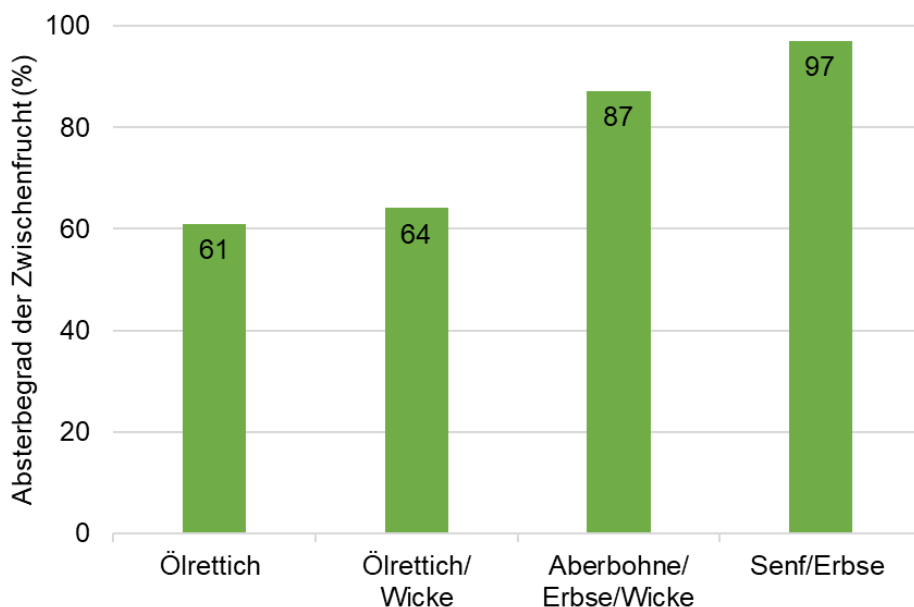


Abbildung 7: Absterbegrad (%) verschiedener Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtart (n = 7, Adenstedt (2020-23), Koldingen (2021-2022), Halligdorf (2022), Poppenburg (2022))

Die N_{min} -Ergebnisse nach Umbruchvarianten in einem Versuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen am Standort Koldingen zeigen, dass der Umbruch einen steigenden Einfluss auf den Frühjahrs- N_{min} -Wert hat. Dargestellt sind die Ergebnisse der klassischen Zwischenfruchtaussaat nach Bodenbearbeitung im August. Der erste Umbruchtermin der Zwischenfrucht erfolgte im November, weitere Parzellen wurden nach dem 15. Januar umgebrochen. Ein dritter Bereich blieb bis zur Bodenbearbeitung vor der Zuckerrübenaussaat unbearbeitet. Verglichen werden die Varianten mit der Strohmulchvariante (Abbildung 8).

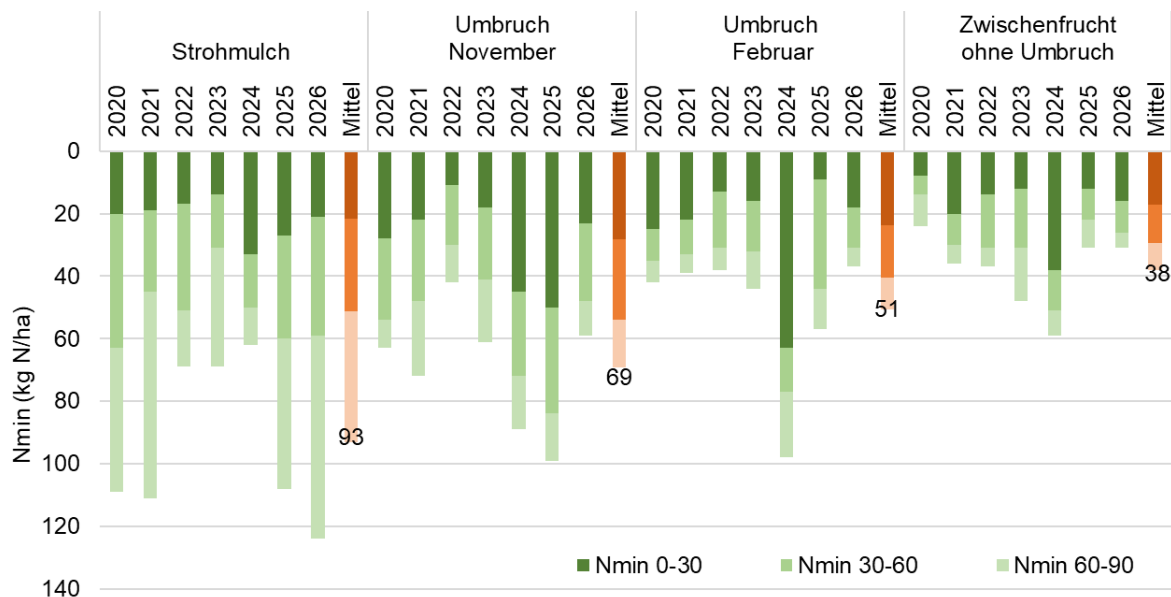


Abbildung 8 N_{min} -Werte im März 2020-2026 nach unterschiedlichen Zwischenfrucht-Umbruchterminen am Standort Koldingen (h) uL, 75 Bodenpunkte)

Die mittlerweile vorliegenden 7-jährigen Ergebnisse belegen, dass auf lehmigen Standorten durch einen frühen Umbruch im November der Frühjahrs- N_{min} -Wert dahingehend beeinflusst werden kann, dass er sich der Höhe der N_{min} -Werte ohne Zwischenfrucht (Strohmulch) nähert und im Mittel der Jahre 10-20 kg N/ha höher liegt als ohne Umbruch. Ein höherer Frühjahrs- N_{min} -Wert bedingt eine geringere noch zu düngende N-Menge. Das ist sowohl aus ökonomischer Sicht als auch unter Umwelt- und Wasserschutzaspekten vorteilhaft. Die Höhe des N_{min} -Wertes im Frühjahr unterliegt verschiedenen Faktoren wie der Höhe der Stickstoffaufnahme des Zwischenfruchtbestandes, der Niederschlags- und Temperaturverläufe über Winter. Somit ist der Frühjahrs- N_{min} -Wert stark jahresabhängig. Die konkret verfügbare N-Menge auf den eigenen Standorten kann nur über standortspezifische Proben wirklich ermittelt werden.

Interessant ist ein weiterer Versuch mit verschiedenen Zwischenfrucht- Aussaatverfahren und Umbruchterminen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der von 2023-2025 angelegt

wurde. In dem Artikel [Nmin-Werte im März 2026 nach Zwischenfrüchten niedrig](#) werden die dreijährigen Ergebnisse vorgestellt.

Fazit:

Mit den vorgestellten Untersuchungen wurde gezeigt:

- Ungedüngte Nichtleguminosen (z. B. Ölrettich, Senf) entwickeln sich auf N-armen, leichten Böden oft unzureichend.
- Leguminosenhaltige Zwischenfruchtmischungen erzielen einen ähnlichen Aufwuchs wie gedüngte Zwischenfrüchte ohne Leguminosen.
- Zwischenfrüchte senken den $N_{\min}$ -Wert im Herbst gegenüber unbewachsenen Flächen ab, unabhängig davon, ob sie gedüngt waren oder nicht bzw. ob sie Leguminosen enthalten haben oder nicht.
- Reine Leguminosen hinterlassen höhere $N_{\min}$ -Werte im Herbst als die übrigen untersuchten leguminosenhaltigen Mischungen.
- Bei der Düngebedarfsermittlung für die Folgefrucht nach leguminosenhaltigen (ca. 30 % Leguminosenanteil) oder gedüngten Zwischenfrüchten können standortbezogen mindestens 10-20 kg N/ha in Abzug gebracht werden.
- Auf nachlieferungsstarken Böden kann ein vorgezogener Umbruch der Zwischenfrucht im November zu einer höheren N-Nachlieferung führen, die sich im Frühjahrs- $N_{\min}$ -Wert niederschlägt.

Literatur:

Benker, M. und Hallmann, J. (2021): Eine Gefahr nicht nur für die Kartoffel. Top Agrar 1/2021, S. 62-66.

Benker, M. (2021): Mit Zwischenfrüchten gegen Trichodorien und TRV. Top Agrar 2/2021, S. 70-76.

Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau (VLK) (2024): Zwischenfruchtanbau – vielseitig. zielorientiert.rentabel, S. 45 ff.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Empfehlungen 2026: Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Kapitel Zwischenfrüchte, S. 398.

LWK Ni & LBEG (2024). Schickelsheim (491b) – Auswaschungsperioden 2018/2019 bis 2021/2022. – Grundwasserschutzorientierte Dauerversuche: 152 S., 55 Abb., 30 Tab., Anh.: 8 Abb., 14 Tab., Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Ni) & Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Oldenburg & Hannover.

NLWKN (2024): Maßnahmenkatalog für Freiwillige Vereinbarungen in für den Gewässerschutz sensiblen Bereichen, insbesondere in Trinkwassergewinnungsgebieten für den Zeitraum vom 01.07.2024 bis zum 31.12.2029, S. 5

Die ergänzenden $N_{\min}$ -Untersuchungen in 2021-2023 sind durch die landesweiten Aufgaben nach § 28 NWG aus der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen finanziert.

Das Saatgut für die mehrjährigen Versuche wurde uns freundlicherweise durch die P.H. Petersen Saatzucht Lundsgaard zur Verfügung gestellt.

© Oldenburg, Juli 2026

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers.

**Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Fachbereich Pflanzenbau**

Wunstorfer Landstraße 9

30453 Hannover

Telefon: 0511 3665-4446

E-Mail: annette.hoffmann@lwk-niedersachsen.de

www.lwk-niedersachsen.de/pflanzenbau



**Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Düngebehörde**

Mars-la-Tour-Straße 1-13

26121 Oldenburg

Telefon: 0441 801-431

E-Mail: andrea.knigge-sievers@lwk-niedersachsen.de

www.duengebehoerde-niedersachsen.de

