

- **Kleimarsch**

- i. Naturraum

Dithmarscher Marsch, östliche Naturraumhälfte

Geologie

Ältere Ablagerungen von Meeressedimenten mit einer langanhaltenden Vorlandphase und langsamer Aufschlickung, östlich einer Linie: Marne – Wöhrden – Wesselburen – Lunden. Böden sind nach langer Bodenentwicklungsphase im Deichvorland und nach der Eindeichung entkalkt. Im Bodenprofil sind keine „Stör-Horizonte“. Böden mit extrem tonreichen Verdichtungszone sind Knickmarschen und mit überschlickten älteren humosen Geländeoberflächen Dwogmarschen. Sie sind nicht in das EIP-Projekt einbezogen.

Bodentyp

Kleimarsch, kalkfreies Profil

Betriebsformen

Ackerbau, mit dominierendem Getreide-, Raps- und Kohlanbau, zwei Betriebe mit Rinderhaltung, ein Betrieb mit Schweinehaltung

Körnung

Im Oberboden 25% T, 53% U, 22% S, mit großer Schwankungsbreite von 17 bis 36% Ton zwischen und innerhalb der Feldstücke.

Gehalte an organischer Substanz

Oberboden (0-30 cm): 4,1% (2,9 bis 5,5%)

Unterboden (30-60 cm): 3,2% (2,1 bis 3,7%)

Humusqualität

C/N Verhältnis = 10 (9-11)

Hohe Humusgehalte und enges C/N - Verhältnis bedingen große Gesamtstickstoffmengen im Bodenprofil:

- Oberboden: (0-30 cm): 9050 kg N/ha
- Unterboden: (30-60 cm): 7100 kg N/ha

Die Ermittlung der Bodenart durch eine Schlämmanalyse und der organischen Substanz durch Bestimmung des organischen Kohlenstoffs im Labor ist einmalig – über einen sehr langen Zeitraum gültig – durchzuführen. Die Werte sind Grundlage für die Beurteilung von Nährstoffversorgungsdaten.

Austauschkapazität (geschätzt)

25 mval/100g Boden

Bodenstruktur

Bewertet im Frühjahr 2016 und Herbst 2018: Die Oberböden weisen in Abhängigkeit vom Tongehalt fein- bis grobpolyedrische Strukturen auf, diese gehen zum Unterboden in gröbere Polyeder über. Unterhalb von 50 cm Bodentiefe Verdichtungsanzeichen mit teils plattigen Strukturen und farblichen Hinweisen auf Staunässe. Gegenüber Frühjahr 2016 hat die Sommertrockenheit durch untergrundtiefe Schrumpfrisse zum Herbst 2018 die Aggegierung im Ober- und Unterboden tendenziell verbessert. Um den Wurzelraum nicht zu beeinträchtigen, ist auf ein Befahren bei angemessener Bodenfeuchte und möglichst geringem Achsen- / Reifendruck zu achten, im Spätherbst beim Anbau von Kohl- und Zuckerrüben schwer einzuhalten. Zur Unterstützung der Selbstheilungskräfte durch Quellung/ Schrumpfung kann der Anbau von Ackerbohnen dienen. Für Zwischenfrüchte reicht die zwischen Ernte und Folgekultur verbleibende Vegetationszeit kaum aus. Auch eine regelmäßige Aufkalkung kann förderlich sein, indem stets freier Kalk im Boden vorhanden ist.

Grunduntersuchung auf pH, P₂O₅, K₂O, und Mg

Drei Untersuchungstermine im Herbst 2015, Frühjahr 2016 sowie Herbst 2018 im Oberboden (0-30 cm):

Tabelle 1 **Durchschnittswerte der Grunduntersuchung in 0-30 cm Bodentiefe auf den Flächen der**

mg/ 100g Boden					Kalk mars ch
	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	
Herbst 2018	6,7	21	23	28	
Frühjahr 2016	6,4	20	16	27	
Herbst 2015	6,6	19	18	28	

Die Unterschiede der Werte vom Herbst 2015 über Frühjahr 2016 bis Herbst 2018 sind ausgesprochen gering, so dass die Probenahme nach der Ernte bis vor der folgenden Kalk-, P₂O₅-, K₂O- Düngung durchgeführt werden kann und die Untersuchungsergebnisse für einen längeren Zeitraum von 5 bis 6 Jahren ausreichend sein dürften. Aber es reicht nicht aus, nur einen Probeentnahmepunkt auf dem Feldschlag zu untersuchen. Innerhalb und zwischen den Feldern bestehen erhebliche Gehaltsunterschiede, so dass eine teilflächenspezifische Düngung angezeigt ist. Die über die Anbaufläche verteilten Analysendaten lassen sich in Karten der Versorgungszustände abbilden und für entsprechende Düngungsmaßnahmen nutzen.

In den Unterböden (30-60 cm) wurden den Oberböden vergleichbare Versorgungswerte gefunden, die in die Düngungsplanung einfließen können:

Tabelle 2 **Durchschnittswerte der Grunduntersuchung des Unterbodens**

mg/ 100g Boden			
pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
6,7	18	16	33

Kalk- und Magnesiumdüngung

Für optimale Aggregatstrukturen ist freier Kalk in den Oberböden erforderlich, d.h. eine Aufkalkung der schweren, ton- und schluffreichen Böden auf pH 7,0 bis 7,2 ist anzustreben, auch um der Kohlhernie entgegenzuwirken. Die Magnesiumwerte liegen im Oberboden- und Unterboden im optimalen Versorgungsbereich und sollten nicht weiter erhöht werden. Calcium wirkt stärker aggregatstabilisierend als Magnesium. Deshalb sollten für die Aufkalkung nach Aufkalkungsversuchen von Grunwaldt an der FH Kiel dolomitarme bis -freie calcitische Kalke mit höchster Reaktivität Verwendung finden. Dazu gehören Kreidekalke, der dänische Faxekorallenkalk und der Carbokalk aus der Zuckerrübenverarbeitung. Hinzu kommt, dass nach Untersuchungen von Grunwaldt Dolomitzalke im Gegensatz zu Calcitkalke oberhalb von pH 6,5 schlecht wirksam sind. Um die Bodenoberflächen vor Verschlammung zu schützen, erscheint eine Kalkausbringung nach der Aussaat von Wintersaaten auf die Bodenoberfläche ohne Einarbeitung vorteilhaft.

Phosphatdüngung

Die Phosphate liegen im optimalen, mittleren Versorgungsbereich, so dass die Anpassung an die DVO über Mineral- und wirtschaftseigene Dünger keine Schwierigkeiten bereiten dürfte. Im Gegensatz zu den Kalkmarschen sind die bodeneigenen Phosphatreserven von Kleimarschen aufgrund ihrer langen Bodenentwicklungszeit wesentlich geringer.

Für das Anbaujahr 2016 wurden anhand der Erträge sowie mineralischen und organischen Düngung Phosphatbilanzen errechnet. Im Durchschnitt von fünf Projektflächen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Tabelle 3 Phosphatbilanz im Durchschnitt der fünf Kleimarschflächen

Angaben in kg P205 je ha						
Jahr	Anbau	1 Nährstoff- bedarf (Entzug)	2 Düngung			2-1 Nährstoffüberschuss/ -unterschuss
			min.	org.	Gesamt	
2016	1 x Ackergras 1 x Kohl 3 x WW	88	31	55	86	-2

In den getreidebetonten Fruchtfolgen ist die Phosphatbilanz ausgeglichen, so dass kein Anstieg der Gehaltswerte im Boden zu erwarten ist.

Kaliumdüngung

Die Kaliwerte liegen im oberen niedrigen Versorgungsbereich. Somit ist bei der Kalidüngung anspruchsvoller Kulturen wie Kohl und Zuckerrüben auf deren Bedarf besonders zu achten.

Mineralischer Stickstoff – Nmin

Durch Ermittlung des mineralischen Stickstoffs (Nmin) im Boden sollen:

- Stickstoffverluste durch Auswaschung und Denitrifikation im Zeitraum „nach der Ernte im Herbst bis Vegetationsbeginn im Frühjahr“ abgeschätzt
- im Frühjahr pflanzenverfügbarer, mobiler, bei der Düngeplanung anrechenbarer Stickstoff bestimmt
- ungenutzte Rest-N-Mengen nach der Ernte im Boden erfasst sowie
- N-Bilanzen erstellt werden.

Dazu wurden auf den Projektflächen von November 2015 bis Ende 2018 jährlich zu Vegetationsbeginn im Frühjahr und nach der Ernte im Herbst Bodenproben aus Tiefen von 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm entnommen und auf deren Nmin-Gehalt analysiert. Pro Fläche erfolgte die Beprobung über den gesamten Projektzeitraum an zwei mittels GPS gekennzeichneten Punkten, die auf jeweils einer Hälfte der Projektfläche festgelegt waren. Die beiden Analysenwerte wiesen teilweise deutliche Unterschiede auf. Zur Absicherung dieser Ergebnisse wurden auf den Projektflächen ein bis mehrere Entnahmepunkte zusätzlich beprobt. Dabei zeigte sich, dass in Kleimarschen wie in Kalkmarschen durch auf engem Raum wechselnde Bodenunterschiede auch die Nmin-Werte über die Fläche mehr oder weniger stark variieren. Die angewendete 2-Punkte-Probenahme ermöglicht gegenüber einer 1-Punkt-Probenahme, unplausible Werte zu erkennen und unerwartete Ergebnisse wie ein extrem niedriges Gehaltsniveau im Frühjahr 2018 und besonders hohe Rest-N-Werte im Herbst 2018 abzusichern.

Vorteilhafter – wenn auch arbeitsaufwendiger – wäre die Untersuchung einer Mischprobe nach Probenahme an mehreren über die Fläche verteilten Punkten. Ein Vergleich von einer Mischprobe mit dem Durchschnittswert von Einzelproben ergab eine befriedigende Übereinstimmung.

Im Durchschnitt von fünf Kleimarschproben wurden folgende Nmin-Mengen je ha und 0-90 cm Bodentiefe ermittelt:

Tabelle 4 Nmin Durchschnittswerte in kg N/ha und 0-90 cm Bodentiefe der fünf Kleimarschflächen

Jahr	Frühjahr		Herbst	
	Bodentiefe cm	Nmin kg/ha	Bodentiefe cm	Nmin kg/ha
2015			0-30	21
			30-60	25
			60-90	20
			0-90	66
2016	0-30	18	0-30	34
	30-60	14	30-60	29
	60-90	13	60-90	20
	0-90	45	0-90	83
2017	0-30	41	0-30	32
	30-60	39	30-60	16
	60-90	27	60-90	11
	0-90	107	0-90	59
2018	0-30	15	0-30	63
	30-60	15	30-60	49
	60-90	10	60-90	45
	0-90	40	0-90	157

In den vier beprobten Jahren übertreffen die Nmin-Mengen im Bodenprofil bis 90 cm den im Herbst angestrebten Wert von <40 kg N/ha deutlich mit einer weiten Spanne von 59 bis 157 kg N/ha.

In den Kleimarschen dominiert der Anbau von Getreide, daneben ist Kohl, Mais, Ackerbohne und Feldgras in der Fruchtfolge. Dabei zeigten über den Projektzeitraum der Anbau von Getreide die höchsten, von Kohl und Feldgras die niedrigsten Rest-N-Mengen nach der Ernte.

Im Herbst 2018 wiesen alle Kulturen überhöhte N_{min}-Werte auf. In allen Projektjahren wurden unterdurchschnittliche, unter den Erwartungen gebliebene Erträge erzielt, was sich in einem überhöhten Düngungsüberschuss niederschlägt. In den Jahren 2016 und 2018 erfolgte außerdem eine erhebliche Mineralisierung N-reicher organischer Substanz (C/N=10) in den sehr humusreichen Ober- und Unterböden. Dies konnte durch eine weitere Probenahme im November 2017 auf Flächen, die im August/September abgeerntet wurden, festgestellt werden (vergleiche N_{min} Kalkmarschen).

In den Jahren 2016 bis 2018 wurden zu Vegetationsbeginn im Mittel der fünf Kleimarschflächen 40 bis 107 kg N/ha und 90 cm Bodentiefe ermittelt. Von Herbst 2015 bis Frühjahr 2016 verringerten sich die N_{min}-Werte um 21 kg N/ha oder knapp ein Drittel (-31%) auf 45 kg N/ha und von Herbst 2017 auf Frühjahr 2018 um 19 kg N/ha und ebenfalls ein Drittel (-32%) auf 40 kg N/ha. Dagegen stiegen die N_{min}-Werte von Herbst 2016 bis Vegetationsbeginn 2017 um 24 kg N/ha auf 107 kg N/ha an.

Die Veränderungsdaten spiegeln sich in den korrespondierenden Niederschlagsmengen von September bis Januar in Dithmarschen wider:

- 2015/16: 507 mm
- 2016/17: 259 mm
- 2017/18: 601 mm
- 2018/19: 320 mm

Während des Winters 2015/16 blieben die Böden bei leichter oberflächlicher Verschlammung weitgehend drainfähig, d.h. die N_{min}-Verluste beruhten überwiegend auf Auswaschung und teils auf Denitrifikation. 2017 waren die Kleimarschen dagegen bereits im November weitgehend wassergesättigt und bis zum Ausgang des Winters stand verbreitet Wasser auf den Ackerflächen. Dies bewirkte eine starke Quellung im gesamten tonreichen Bodenprofil, und durch den dadurch bedingten Luftabschluss entstanden N_{min}-Verluste durch Denitrifikation in einem anaeroben Milieu.

Ein Vergleich der fünf Einzelflächen in den Winterperioden 2015/16 und 2017/18 zeigt, dass mit steigendem Nmin-Gehalt im Herbst zwar absolut und relativ größere Nmin-Verluste auftraten, aber zugleich auch leicht höhere Nmin-Werte im Frühjahr – mit einer Spanne von 30 bis 50 kg N/ha – ermittelt wurden. 2016 waren die Sommer- und Herbstmonate niederschlagsarm und mild. Dies förderte die Mineralisierung von organischer Substanz im Ober- und Unterboden, so dass bei nur geringer Verlagerung im Frühjahr 2017 überdurchschnittlich hohe Nmin-Werte im gesamten Bodenprofil vorhanden waren. Eine vergleichbare Entwicklung wird bis zum Vegetationsbeginn 2019 erwartet.

Stickstoffüberschüsse lassen sich in der Marsch nur begrenzt nutzen und vor einem Verlust über den Winter bewahren. Die Zeit zwischen häufig relativ später Ernte und früher Wiederbestellung von Winterfeldfrüchten (Getreide, Raps) reicht im Allgemeinen kaum für den Anbau von Zwischenfrüchten, diese binden auch überwiegend Stickstoff aus dem Oberboden. Gleiches gilt vor dem Winter für den Anbau von Winterfeldfrüchten. Vor Sommerfeldfrucht (Zuckerrübe, Kohl) könnte die Vegetationszeit der Zwischenfrüchte bis in den Wintereinbruch ausgeweitet werden. Das würde jedoch bedeuten, auf eine Pflugfurche unter günstigen Bodenverhältnissen (Minutenböden) im Herbst zu verzichten und sie stattdessen auf das Frühjahr zu verlagern. Hauptaugenmerk ist deshalb auf eine Reduzierung von Düngungsüberschüssen und Reststickstoff im Herbst zu richten.

N-Bilanzen

Für die in den Projektjahren auf fünf Kleimarschflächen angebauten Kulturen (überwiegend Getreide, auch Kohl- und Feldgras) wurden anhand

- aus Erträgen abgeleiteten N-Sollbedarfswerten (Entzüge)
- der mineralischen und organischen N-Düngung sowie
- der Nmin-Werte zu Vegetationsbeginn im Frühjahr und nach der Ernte im Spätsommer bis Herbst
- N-Bilanzen errechnet.

Vom Gülle-/Gärs substratstickstoff wurden 70% angerechnet. Nicht erfasst und damit nicht berücksichtigen lassen sich N-Verluste während der Vegetationszeit durch Abdrift, Denitrifikation und Verlagerung.

Für die einzelnen Jahre sind die Durchschnittswerte aus den Einzelwerten der fünf Kulturflächen in kg N je ha und 0-90 cm Bodentiefe angegeben:

Tabelle 5 Nmin Durchschnittswerte der einzelnen Jahre Kleimarsch

1	2	3	4	5	6	7	8
Anbaujahr	N-Sollbedarfswert (Entzug)	N-Düngung Min.+org.	Frühjahrs-Nmin	N verfügbar Düng.+Frühj.-Nmin 3+4	N-Überschuss/Unterschuss 5-2	Herbst-Nmin	Nachlieferung aus Boden** 7-6
2015	229	233	50	283	54	75	21
2016	221	251	45	296	75	83	8
2017 *	204	162	87	249	45	59	14
2018 *	215	205	40	245	30	157	127

* ohne Anbau von Ackerbohnen

** N-Mineralisierung abzgl. N-Verluste während Vegetation durch Denitrifikation, Verlagerung, Ammoniakverflüchtigen

In den Projektjahren wurden die Ertrags Erwartungen überwiegend nicht erfüllt – ein Sollbedarfswert von 240 kg N/ha entspricht einem Weizenertrag von 100 dt/ha. Unter Trockenheit litten in den Kleimarschen Hackfrüchte weniger als Getreide (2016,2018), aber stärker unter der Feuchte des regenreichen zweiten Halbjahres 2017. 2018 wirkte sich Nässe bis ins Frühjahr und anschließende Dürre bis in den Herbst ertragsbegrenzend aus. Insgesamt bestanden erhebliche N-Überschüsse aus der Düngung einschließlich Frühjahrs-Nmin, die sich entsprechend auf erhöhte Nmin-Werte im Herbst auswirken. Die „berechnete“ Nachlieferung des Bodens durch Mineralisierung war in den Jahren 2015 bis 2017 sehr niedrig. Hier dürfte eine Untererfassung vorliegen, indem in den tonreichen, schweren Böden unter niederschlagsreichen Bedingungen (Quellung, Verdichtung, Luftabschluss) Nitratstickstoff durch Denitrifikation verlorengeht.

Demgegenüber bestanden 2018 günstige Mineralisierungsverhältnisse – der Boden wurde durch Schrumpfrissbildung bis in den Untergrund tiefgründig durchlüftet – und in den Ober- und Unterboden mit ihren hohen Gehalten an stickstoffreicher (C/N=10) organischer Substanz wurden erhebliche Stickstoffmengen freigesetzt, wodurch der Herbst-Nmin-Wert extrem stark anstieg.

Für den Anbau von Ackerbohnen lässt sich (bei Düngungsverzicht und symbiotischer N-Bindung) keine entsprechende N-Bilanz erstellen. Aber nach der Ernte 2017 wurde im Durchschnitt von zwei Anbauflächen ein vergleichbarer Herbst-Nmin-Wert von 59 kg N/ha ermittelt und im folgenden Frühjahr 2018 betrug der durchschnittliche Nmin-Wert nur 30 kg N/ha, d.h. der extrem niederschlagsreiche Herbst und Winter verhinderte – bei gleichzeitiger Denitrifikation – die Mineralisation von Vegetationsrückständen.

Aus den Ergebnissen der ausgewerteten Projektjahre, die durch extreme Witterungsbedingungen (Trockenheit, Nässe) geprägt waren, sind Nmin-Werte für den Vegetationsbeginn im Frühjahr schwierig abzuschätzen und dann in die Düngungsplanung aufzunehmen. Sofern keine eigene Nmin-Beprobung erfolgt, sollten Messergebnisse der Kammerberatung – unter Beachtung von Region, Bodentyp sowie Vor-/ Hauptfrucht – herausgezogen werden. Dabei sind Ergebnisse von Praxisflächen denen von Versuchsfeldern vorzuziehen. Auch können Beratungsringe Nmin- Untersuchungen über ihren Bezirk verbreitet durchführen und deren Ergebnisse ihren Mitgliedern für die Düngplanung zuleiten. Die N-Nachlieferung im Boden ist für die Kleimarschen besonders schwierig einzuschätzen. In den schweren Böden können einerseits niederschlagsbedingt Denitrifikationsprozesse des N-Niveau erheblich verringern, andererseits Mineralisierungsprozesse dieses unter günstigen Feuchte-/ Temperaturverhältnissen stark erhöhen. Allgemeine Empfehlungen/ Vorgaben über die N-Freisetzung aus Vorfrüchten und Bodenvorräten sind mit Umsicht zu beachten, d.h. sind für Kleimarschen nicht ohne weiteres übertragbar.

Es hat sich gezeigt, dass Ertragserwartung und Frühjahrs-Nmin-Werte einen Nährstoffüberschuss und die Reststickstoffmenge im Boden nach der Ernte wesentlich bestimmen und damit entscheidend für die Düngeplanung sind.

Zusammenfassung

- Bodenart: uL bis huL, im Durchschnitt 25% T, 53% U, 4% organische Substanz, C/N=10, Erfassung einmalig notwendig
- Grunduntersuchung auf pH, P205, K2O, Mg: kann in mehrjährigem Abstand in Zeitraum nach der Ernte bis zu folgender Düngungsmaßnahme erfolgen, aufgrund der Inhomogenität der Flächen nicht nur von einem Beprobungspunkt.
- Struktur: Vermeidung von plattrigen Unterbodenverdichtungen durch bodenangepasstes Befahren; starke Austrocknung mit tiefgründiger Schrumpfrissbildung kann Verdichtungen vermindern, durch Anbau von Ackerbohnen (robuste Tiefwurzler) gelangen Wurzeln durch feine Bodenrisse im Untergrund.
- Kalkung und Mg-Versorgung: Anhebung der pH-Werte der ton- und schluffreichen Böden auf 7,0 bis 7,2 zur Aggregatstabilisierung mit hochreaktiven magnesiumarmen bis magnesiumreichen Kalken (Kreidekalk, Faxe-Korallenkalk, Carbokalk), Mg-Werte liegen im optimalen bis hohen Versorgungsbereich und sollten nicht erhöht werden, Magnesium hat ein geringeres Aggregierungsvermögen als Calcium. Gegen Verschlammung der ton- und schluffreichen Marschböden ist Kalkung im Herbst auf die Bodenoberfläche nach Aussaat ohne Einarbeitung vorteilhaft.
- Phosphat: Versorgungswerte im optimalen, mittleren Bereich, bereitet sowohl bei mineralischer oder organischer Düngung keine Schwierigkeiten; es besteht Möglichkeit einer Gülleaufnahme aus viehstarken Betrieben.