

## a) Geest

Naturraum

Heider Hohe Geest

Geologie

Moränenablagerungen der vorletzten Eiszeit (Saale – Warthe) mit Flugsandüberdeckung der letzten Nacheiszeit.

Bodentyp

Podsolige Braunerden, Podsolierung durch Pflughorizont nicht sichtbar, Ortstein/Orterde nicht erkennbar.

Betriebsformen

Milchviehhaltung und Ackerbau mit Schwerpunkt Silomais, zwei Biogasanlagen

Körnung

Im Oberboden 6% T, 20% U, 74% S.

Bodenart

Sand (S) bis schwach lehmiger Sand (l'S), zum Unterboden/ Untergrund wird der Boden etwas bindiger.

Gehalt an organischer Substanz

Oberboden (0-30 cm): 3,2% (2,1-6,2%)

Unterboden (30-60 cm): 1,4% (0,8-2,5%)

Krumenmächtigkeit: 30-40 cm

Humusqualität

C/N – Verhältnis: 13 (11 – 15)

Gesamtstickstoff: Oberboden (0-30 cm): 6250 kg N/ha

Unterboden (30-60 cm): 2700 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 erforderliche Grundlage für die Beurteilung von Nährstoffversorgungsdaten.

Austauschkapazität (geschätzt)

10 mval/ 100 g Boden

Bodenstruktur

Bewertet im Frühjahr 2016 und Herbst 2018: Oberböden überwiegend krümelig, sofern leicht verfestigt krümelig zerdrückbar, im Übergang zum Unterboden in 30 bis 50 cm Bodentiefe teilweise plattrige Strukturen, vom ersten zum zweiten Bewertungstermin Tendenz zu verstärkter Verdichtung, schränkt Wurzelraum ein. Zur Vermeidung irreversibler Verdichtungen ist ein Befahren bei angemessener Bodenfeuchte mit möglichst niedrigem Achsen- und Reifendruck ratsam. Vorteilhaft ist der Anbau tiefwurzelnder Zwischen- und Hauptfrüchte (Luzerne, Ackerbohnen). Hohe Druckbelastung der Böden bereitet die Silomaisenernte im Spätherbst.

Grunduntersuchung auf pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg

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

**Tabelle 1 Grunduntersuchung auf der Geest im Oberboden (0-30cm)**

mg/ 100 g Boden				
	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
<b>Herbst 2018</b>	5,8	33	15	10
<b>Frühjahr 2016</b>	5,5	32	12	5
<b>Herbst 2015</b>	5,5	33	9	6

Zwischen den Erhebungsterminen weisen die Phosphatwerte relativ geringe Unterschiede auf, dagegen die pH-, Kali- und Magnesiumwerte eine steigende Tendenz, vermutlich 2018 auch eine Folge des Dürresommers mit geringer Nährstoffaufnahme/ geringeren Erträgen. Die über eine Anbaufläche verteilten Analysendaten lassen sich auch in Karten der Versorgungszustände abbilden und für eine teilflächenspezifische Düngung nutzen. Für die Ermittlung des Nährstoffversorgungsgrades erscheint eine Bodenprobennahme im Herbst oder Frühjahr möglich, wenn diese nach der Ernte und vor der nächsten Düngung von Kalk, Phosphat, Kali und Magnesium erfolgt. Die geringen Veränderungen während des Projektzeitraums zeigen, dass ein längerer Untersuchungsabstand von schätzungsweise 5 bis 6 Jahren angemessen erscheint.

Für die Bewertung des Nährstoffhaushaltes sind auch Gehalte in Unterböden bedeutsam.

**Tabelle 2 Grunduntersuchung auf der Geest im Unterboden (30-60cm)**

mg/ 100 g Boden			
pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
5,7	13	9	5

#### Kalkung und Magnesiumdüngung

Diese beiden Düngemaßnahmen sind miteinander verbunden, da Calcium und Magnesium gleichermaßen der Auswaschung unterliegen. Gemäß Grunduntersuchung liegt die Magnesiumversorgung im niedrigen bis sehr niedrigen Versorgungsbereich. Die Kalkversorgung liegt mit im Mittel pH 5,5 an der unteren Grenze des optimalen Bereichs (5,5 – 6,0). Doch besteht zwischen den 5 Projektflächen (pH 5,2 bis 6,2) und innerhalb der Flächen (pH 4,9 bis 6,4) eine weite Spanne der pH-Werte. Bringt man die Mg-Werte zu den pH-Werten in Beziehung, zeigt sich eine enge positive Korrelation, d.h. mit sinkendem pH-Wert nimmt das verfügbare Magnesium stark ab (bis 3 mg Mg/ 100g Boden) und umgekehrt. So ist es ratsam, zur Verbesserung des Kalkzustandes der Böden und der Magnesiumversorgung der Kulturen einen magnesiumreichen Kalkdünger zu verwenden. Dies ist nach umfangreichen Aufkalkungsversuchen von Grunwaldt an der FH Kiel am besten mit reinem dolomitischen Kalk, der wenig calcitische Anteile enthält, zu erreichen. Bei Mischungen von calcitischen und dolomitischen Kalken wird die Magnesiumlöslichkeit herabgesetzt. Gleiches erfolgt, wenn ein Kalk von Natur her aus calcitischen und dolomitischen Bestandteilen besteht. Aufgrund einer geringeren Reaktivität von Dolomit gegenüber Calcit besteht bei höheren Kalkgaben nicht die Gefahr einer Überkalkung (Humusschonung, Spurenelementverfügbarkeit). Es kann damit eine größere Aufwandsmenge für eine Fruchtfolge ausgebracht werden mit einer nachhaltigen pH- und Magnesiumwirkung.

## Phosphatdüngung

Nach den Richtwerten der Düngeverordnung sind die Phosphatwerte mit im Mittel 30 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ 100 g Boden überhöht und setzen Grenzen über die Zufuhr durch Mineral- und Wirtschaftseigene Düngung. Die Düngung basiert überwiegend auf der Ausbringung von Rindergülle und Gülle/ Silomaisgärssubstrat und einer mineralischen Phosphat-Unterfußdüngung mit DAP 18/46 oder NP 20/20. Deren Menge wird sich künftig an der Phosphat-Versorgungsstufe und dem Bedarf der Kulturen ausrichten müssen. Für die Anbaujahre 2015 bis 2018 wurden anhand der Erträge sowie mineralischen und organischen Düngung Phosphatbilanzen errechnet.

**Tabelle 3 Phosphatwerte im Durchschnitt über die fünf Projektflächen der Geest**

Angaben in kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> je ha						
Jahr	Anbau	1 Nährstoffbedarf (Entzug)	2 Düngung			2-1 Nährstoffüberschuss
			min.	org.	Gesamt	
2015	4 x Silomais, 1 x GPS	89	37	105	142	+53
2016	4 x Silomais, 1 x WW	85	47	85	122	+37
2017	4 x Silomais, 1 x WW	81	28	97	125	+44
2018	2 x Silomais, 1 x ZR, 1 x SG, 1 x WR	76	12	70	82	+6

Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Düngungsüberschuss, der nicht 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ ha übersteigen sollte, wird im Wesentlichen durch die mineralische Unterfußdüngung zu Silomais verursacht. Um das Ausbringen von Gülle-/ Gärssubstrat möglichst hoch ansetzen zu können, erscheint ein weitgehender Verzicht auf mineralische Unterfußphosphatdüngung beim Silomais unerlässlich.

Das Phosphat von 0,7 dt 18/46 oder 1,5 dt 20/20 ist in etwa 15 m<sup>3</sup> Rindergülle enthalten. Stattdessen lässt sich der frühzeitige Phosphatbedarf des Silomaises auch über eine Strip-Till-Ausbringung von Gülle/ Gärsubstrat decken. Eine erste Versuchsanwendung erbrachte keine Ertragsminderung.

#### Kalidüngung

Die Kaliwerte liegen im niedrigen bis mittleren Versorgungsbereich. Aufgrund der Auswaschungsgefahr bei niedrigem Tongehalt (geringe Austauschkapazität) ist eine Anhebung der Bodengehalte wenig zielführend. Die Kalidüngung ist an dem jeweiligen Bedarf der Kulturen auszurichten.

#### Mineralischer Stickstoff im Boden – Nmin

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

- Stickstoffverluste durch Auswaschung im Zeitraum „nach der Ernte im Herbst bis Vegetationsbeginn im Frühjahr“ abgeschätzt
- im Frühjahr pflanzenverfügbarer mobiler, bei der Düngeplanung anrechenbarer Stickstoff bestimmt
- ungenutzte Reststickstoffmengen 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 über den gesamten Projektzeitraum die Beprobung an zwei mittels GPS gekennzeichneten Entnahmepunkten, die auf jeweils einer Hälfte der Projektfläche festgelegt waren. Die Analysenwerte der beiden Entnahmepunkte wiesen auf der Geest überwiegend relativ geringe Unterschiede auf, so dass deren Mittelwert das Gehaltsniveau auf den Ackerflächen angemessen widerspiegelt. Ergänzend wurden im Herbst 2017 auf den Projektflächen weitere Entnahmepunkte – bestätigend – beprobt. Die Vorgehensweise mit zwei Probenahmepunkten erscheint auf der Heider Hohen Geest zur Nmin-Ermittlung für einen Düngeplan der landwirtschaftlichen Praxis geeignet.

Ein Reduzieren auf einem Punkt der Fläche sollte nicht erfolgen, um un plausible Werte zu erkennen und auszuschließen sowie unerwartete Ergebnisse wie das niedrige Gehaltsniveau im Frühjahr 2018 und die extrem hohen Rest-N-Werte im Herbst 2018 abzusichern. Die Untersuchung einer Mischprobe aus einer Bodenentnahme an mehreren Punkten der Fläche ist auch möglich.

**Tabelle 4 Nmin Mengen im Durchschnitt der fünf Projektflächen 0-90 cm auf der Geest**

Jahr	Frühjahr		Herbst	
	Bodentiefe cm	Nmin kg/ha	Bodentiefe cm	Nmin kg/ha
2015			0-30	23
			30-60	27
			60-90	17
			<b>0-90</b>	<b>67</b>
2016	0-30	14	0-30	21
	30-60	10	30-60	10
	60-90	6	60-90	11
	<b>0-90</b>	<b>30</b>	<b>0-90</b>	<b>42</b>
2017	0-30	24	0-30	26
	30-60	12	30-60	20
	60-90	6	60-90	16
	<b>0-90</b>	<b>42</b>	<b>0-90</b>	<b>62</b>
2018	0-30	10	0-30	71
	30-60	7	30-60	54
	60-90	4	60-90	26
	<b>0-90</b>	<b>21</b>	<b>0-90</b>	<b>151</b>

Sowohl im Frühjahr als auch im Herbst nehmen die Nmin-Gehalte mit der Bodentiefe ab. Bedingt durch die zum Oberboden ansteigenden Humusgehalte besteht dort auch ein höheres Wasser- und Nährstoffspeichervermögen, aber auch ein stärkeres N-Nachlieferungspotential durch Mineralisierung der relativ N-reichen organischen Substanz (C/N=13). Die Nmin-Gehalte im Herbst nach der Ernte weisen in den 4 Jahren eine weite Spanne von 42 bis 151 kg N je ha und 90 cm Bodentiefe auf, d.h. nur in dem Jahr 2016 wurde der angestrebte Wert von <40 kg N/ha erreicht. In den Rest-N-Mengen spiegelt sich das Ertragsniveau der Hauptfrucht Silomais in den betreffenden Jahren wider.

Im Jahr 2016 war dieses mit im Mittel über 180 dt TS/ha überdurchschnittlich hoch, die Bestände entwickelten sich kontinuierlich bis zur Ernte im Spätherbst verbunden mit einer kontinuierlichen Nährstoffaufnahme. 2015 und 2017 lagen die Silomaisserträge auf mittlerem Niveau von 150 dt TS/ha und waren 2015 durch Vorsommertrockenheit und 2017 durch Übernässung der Böden in der zweiten Vegetationshälfte beeinträchtigt. Nässe zu Vegetationsbeginn und extreme Sommertrockenheit führten 2018 zu einem sehr niedrigem Ertragsniveau bis unter 120 dt TS/ha, so dass durch einen erheblichen Düngungsüberschuss und starke Mineralisierung organischer Substanz der Nmin-Wert dreimal so hoch wie angestrebt (<40 kg N/ha) war. Bei den viehhaltenden Betrieben zeigt sich offenbar, dass sich nährstoffreiche organische Substanz aus langjähriger Gülleanwendung in den Böden angereichert hat und dadurch unter günstigen Witterungsbedingungen ein erhöhtes N-Nachlieferungspotential besteht. Hinsichtlich der N-min-Werte nach der Ernte waren 2018 die Bedingungen auf einem Zuckerrübenschlager günstiger. Nach zwar beeinträchtigter Entwicklung im Sommer führten im August/ September wieder einsetzende Niederschläge zu einem kontinuierlichen Wachstum der Kultur und stetiger Aufnahme des verfügbaren mobilen Stickstoffs zu einem niedrigen Rest-N-Niveau von knapp 30 kg N/ha, d.h. unter 40 kg N/ha. In den Jahren 2016 bis 2018 des Projektzeitraums wurden zu Vegetationsbeginn im Mittel der Betriebe 21 bis 42 kg N/ha und 90 cm Bodentiefe gefunden. Im Winter 2015/16 verringerte sich die Nmin-Menge um 37 kg/ha oder 55% und im Winter 2017/18 um 41 kg/ha oder 67%, und zwar auf besonders niedrige Werte in 30 bis 90cm Bodentiefe. Ein Vergleich der fünf Einzelflächen zeigt, dass mit steigendem Nmin-Gehalt im Herbst absolut und relativ höhere N-Verluste auftreten. Zwischen Nmin-Wert im Herbst und Nmin-Wert im Frühjahr besteht eine nur unwesentliche Beziehung. Dagegen veränderten sich die Gehalte von Herbst 2016 bis Frühjahr 2017 unwesentlich und wiesen den höchsten Wert zu Vegetationsbeginn auf. Während der milden Vorwinterperiode dürfte im Oberboden bereits Stickstoff durch Mineralisierung freigesetzt worden sein, während sich im Unterboden eine leichte Abnahme vollzog.

Eine vergleichbare Entwicklung ist wohl auch für die Nmin-Werte zu Vegetationsbeginn 2019 zu erwarten. Die Veränderungsraten spiegeln sich in den korrespondierenden Niederschlagsmengen Dithmarschens von September bis Januar wider:

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

Mit ansteigendem Sickerwasser verstärken sich die Auswaschungsverluste. Diese lassen sich nur begrenzt einschränken. Für Zwischenfrüchte ist im Silomaisanbau die verbleibende Vegetationszeit sehr kurz und durch einen begrenzten Wurzeltiefgang wird überwiegend Stickstoff aus dem Oberboden aufgenommen, wie aus einem Versuchsansatz hervorging. Auch der Anbau von Winterfeldfrucht (Getreide, Raps) kann Stickstoff binden, auch hier vor allem aus dem Oberboden. Im Herbst 2018 wurde sichtbar, wie sich ein Winterweizen nach Silomais besonders intensiv entwickelte.

#### N-Bilanzen

Für die auf den fünf Projektflächen der Heider Hohen Geest in den Projektjahren angebauten Kulturen (überwiegend Silomais) 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-/ Gärsubstrat-Stickstoff 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 fünf Geestflächen in kg N/ ha und 0-90 cm Bodentiefe**

1	2	3	4	5	6	7	8
Anbaujahr	N-Sollbedarfs wert (Entzug)	N-Düngung min.+org.	Frühjahrs-Nmin	N verfügbar Düng. + Frühjahr-Nmin 3+4	N-Überschuss/Unterschuss 5-2	Herbst-Nmin	Nachlieferung aus Boden* 7-6
2015	178	192	30	222	44	67	23
2016	206	161	30	191	-15	42	57
2017	187	165	42	207	20	62	42
2018	139	157	21	178	39	151	112

Die N-Sollbedarfswerte/Entzugswerte spiegeln das über die Jahre stark schwankende Ertragspotential des Silomaisanbaus auf der Heider Hohen Geest wider. Sommertrockenheit (2015), Nässe (2017) und Dürre (2018) begrenzten die Vegetationsentwicklung, während anhaltendes Wachstum bis in den Spätherbst im Jahr 2016 eine unerwartet hohe Ertragsbildung bewirkte. Bei außerdem leicht schwankenden Nmin-Werten von 20 bis 40 kg N/ha zu Vegetationsbeginn im Frühjahr sowie witterungsbedingt unterschiedlich starker Nachlieferung aus dem Boden – abgesehen vom Ausnahmejahr 2018 – von 20 bis 60 kg N/ha ist eine sichere Düngungskalkulation schwer zu bewerkstelligen. Die Höhe des Herbst-Nmin-Wertes ist durch den N-Überschuss aus Düngung und Frühjahrs-Nmin sowie der Nachlieferung durch Mineralisierungsprozesse im Boden bedingt.

Ohne eigene Nmin-Ermittlung könnten zu Vegetationsbeginn in Anlehnung an die Messergebnisse des Projektes Nmin-Werte von 20 bis 30 kg N/ha nach niederschlagsreichen Wintermonaten und von 30 bis 40 kg N/ha nach mild-trockenem Winter in die Düngeplanung eingehen. Würden anhand der mittleren Nachlieferungsmengen des Bodens in den Jahren 2015 bis 2017 40 kg N/ha eingesetzt, ließe sich der Herbst-Nmin-Wert überwiegend auf unter 40 kg N/ha absenken. Doch derart niedrige Naturalerträge und hohe Nachlieferungsraten wie im Dürrejahr 2018 sind unkalkulierbar; die Düngungsmaßnahmen waren bereits abgeschlossen, als die wachstumshemmende Witterung einsetzte.

#### Zusammenfassung Geest

- Bodenart: S bis l'S; im Durchschnitt 6% T, 3% organische Substanz, C/N 13, Erfassung einmalig notwendig
- Grunduntersuchung auf pH P205, K20, Mg: kann in mehrjährigem Abstand im Zeitraum nach der Ernte bis folgender Düngungsmaßnahme erfolgen, wegen Schwankungsbreite nicht nur an einem Beprobungspunkt.
- Struktur: Irreversible plattige Verdichtung im Unterboden durch bodenangepasstes Befahren vermeiden, ggf. Ackerbohnen, Luzerne anbauen (robuste Tiefwurzler)
- Kalkung und Mg-Versorgung: pH und Mg-Gehalt in positiver korrelativer Beziehung, deshalb Kalkung mit calcitarmem, reinem Dolomitkalk
- Phosphat: überhöhte Gehalte durch langjährige Gülleausbringung viehstarker Milchviehbetriebe erfordert weitestgehenden Verzicht auf mineralisches Phosphat und reduzierten Gülleaufwand durch Strip-Till-Technik

- Nmin: Hauptaugenmerk ist auf möglichst geringe Rest-N-Mengen nach der Ernte zu richten; Nährstoffüberschüsse werden überwiegend ausgewaschen, Zwischenfrüchte und frühe Winterfeldfrüchte können N-Überschüsse im Oberboden binden
- N-Düngeplanung: benötigt Daten zu Ertragserwartung, Frühjahrs-Nmin und Nachlieferung des Bodens, Nmin-Werte aus eigener Frühjahrs Beprobung besser als Vergleichswerte aus Nitratmessnetz der Landwirtschaftskammer ergänzt durch Anhaltspunkte aus EIP-Projekt und diese besser als allgemeine Faustzahlen. Abschätzen der Nachlieferung ist witterungsbedingt extrem unsicher. Langjährige Gülleausbringung dürfte das Nachlieferungspotential erhöhen.