

Einsatz von Techniken des Präzisen Landbaus für ein verbessertes Stickstoff-Management in gefährdeten Gebieten Schleswig-Holsteins

F&E&T-Verbundprojekt

MLUR Endbericht 15.12. 2006

**Prof. Dr. Yves Reckleben
Prof. Dr. Jürgen Lamp**

Fachbereich Landbau
Am Kamp 11
24783 Osterrönfeld



FACHHOCHSCHULE KIEL
University of Applied Sciences



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Abschlussbericht zum MLUR-FuE-Projekt

„Präzise Landbau-Techniken in gefährdeten Wasserschutzgebieten“

1. Einleitung	2
2. Eignung der geoelektrischen Bodensonde EM38 zur flächendeckenden und hochaufgelösten Bodeninventur in Wasserschutzgebieten	3
2.1 Grundlagen des geoelektrischen Bodensensors EM38	3
2.2 Durchführung und summarische Statistiken	10
2.3 Bodenleitfähigkeits- im Vergleich mit Bodentypen- und Bodenschätzungskarten	12
2.4 Zusammenfassung und Kommentare zu den WSG-Bodengebieten	19
2.5 Eignung EM38-gestützter Hof-Bodenkarten zur genauen Ausweisung von Nitrat-Austragsrisiken	21
2.6 Kommentare zur Eignung und Akzeptanz der EM38-gestützten Bodeninventur	23
2.7 Nutzung von Grablochdaten der Bodenschätzung zur Kalibrierung vom EM38-Karten	24
3. Versuche zur N-Düngung	25
3.1 Versuchstechnik	25
3.1.1 Sensortechnik zur Erfassung des N-Bedarfs	25
3.1.2 Eingesetzte Applikationstechnik	29
3.2 Versuch Lentförden (WSG-Bad Bramstedt)	30
3.3 Versuch Schwesing (WSG-Husum)	35
3.4 N_{\min} Beprobung der Düngeflächen	38
3.4.1 N_{\min} Analysen Lentförden	38
3.4.2 N_{\min} Analysen Schwesing	39
3.5 Fazit der Düngeversuche	40
3.5.1 Fazit N_{\min}	41
4. Eignung von <i>Ertragskarten</i> im Körnerdrusch für lokale N-Entzugskarten und praktische Erfahrungen im Futterbau	41
5. Eignung und Akzeptanz der Techniken des Präzisen Landbaus in Wasserschutzgebieten	43
5.1 Der geoelektrischen Bodensensor und die effiziente Bodeninventur	43
5.2 Eignung und Akzeptanz der N-Sensor und Ertragstechnik	45
6. Literaturverzeichnis	46

1. Einleitung

Das Projekt wurde von zwei Professoren bearbeitet. Prof. Dr. Jürgen Lamp vom Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian Albrechts-Universität zu Kiel und Prof. Dr. Yves Reckleben von der Fachhochschule Kiel, Fachbereich Landbau, Fachgebiet Landtechnik in der Außenwirtschaft, die im Folgenden Antragsteller genannt werden.

Die Projektpartner waren die Wasserschutzberater Dr. Udo Müller-Thomsen von der Ingenieursgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein (IGLU) und Dr. Götz Reimer von der Firma Gerles Ingenieure GmbH sowie Dr. Klaus Henning von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Alle Projektpartner haben mit dem Antrag beim Ministerium für Umwelt und ländliche Räume das Ziel verknüpft, die neuen Techniken, die sich durch die Landtechnik ergeben, für ein verbessertes Stickstoffmanagement und Risikomanagement in den Wasserschutzgebieten zu erproben.

Das Ziel sollte sein, durch diese neuen Techniken die N-Austräge zu reduzieren oder zu prüfen, ob die neuen Techniken geeignet sind, für solche Maßnahmen. Dafür wurde ein Projektantrag gestellt, der im April 2006 genehmigt wurde. Da der Antrage nur sehr spät genehmigt werden konnte, waren nicht in allen drei Wasserschutzgebieten Standorte zu finden, an denen nicht schon alle Düngungen abgeschlossen waren. Auf dem Standort Schwesing bei Husum wurde ein Weizen zu N_3 gedüngt (die N_2 -Gabe war zu diesem Zeitpunkt schon abgeschlossen). Die Gabe zu N_3 wurde gescannt (hyperspektrale passive Bestandese Erfassung in Fahrgassen) und mit dem Yara N-Sensor gedüngt, ferner wurde auch die Biomasse gemessen. Auf dem Schlag „Maaskoppel“ (hus1) wurde gescannt und konstant gedüngt, um hier die heterogene Entwicklung zum Zeitpunkt der N_3 -Düngung aufzeigen zu können. Der zweite Standort war in Lentförden bei Bad Bramstedt (bra3), auf dem ein Roggenbestand gedüngt wurde. Dort wurde ein Düngeversuch angelegt, indem zu N_2 und N_3 auf ca. 10,6 ha Fläche teilflächenspezifisch gedüngt wurde. Des weiteren wurden die Varianten auch gescannt. Nebenher wurden dort drei Maisschläge mit jeweils 14,9, 6,5 und 4,9 ha in der Biomasseentwicklung gescannt, aber nicht mehr gedüngt, weil die Maisdüngung zu diesem Zeitpunkt schon mit der Unterfußdüngung abgeschlossen war. Ziele auf diesen beiden Standorten waren, durch die angepasste teilflächenspezifische Düngung mit dem Yara N-Sensor eine bedarfsgerechte Pflanzenernährung zu erreichen und damit die N-Austräge zu reduzieren sowie die Erträge

in den Teilflächen zu erhöhen. Bilanzuell betrachtet heißt das: je mehr Ertrag vom Feld weggefahren wird, desto besser ist der Stickstoff verwertet worden.

Zur Kalibrierung des Yara N-Sensors wurde auf beiden Standorten die betriebsübliche N-Menge genutzt, d.h. die betriebsübliche Menge wurde auch mit dem Yara N-Sensor ausgebracht.

2. Eignung der geoelektrischen Bodensonde EM38 zur flächendeckenden und hochaufgelösten Bodeninventur in Wasserschutzgebieten

2.1 Grundlagen des geoelektrischen Bodensensors EM38

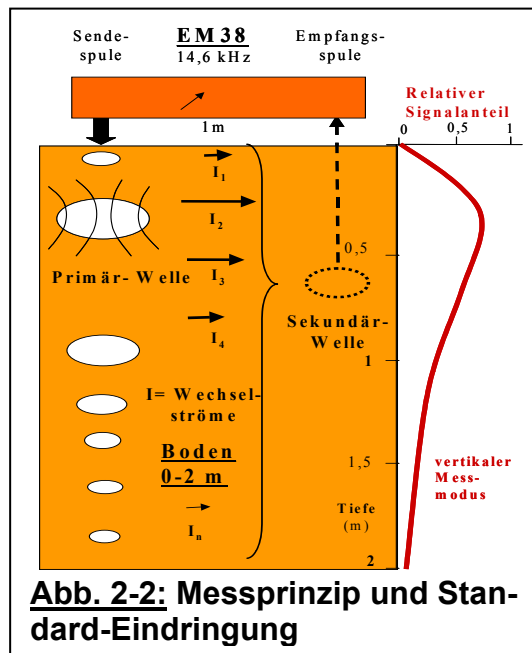


Abb. 2-1: Die Em38-Sonde im Feld-Einsatz (Fahrgassenbefahrung hinter dem „SoilRover“)

Einstellung und Fahrgassenbefahrung: Nach erfolgter Grundeinstellung (Gerätekalibrierung) zeigt das EM38-Gerät Werte der elektrischen Leitfähigkeit (EC) spezifisch je m Boden an. Die Sonde ist auf einen PVC-Schlitten ca. 5m hinter dem ziehenden Geländefahrzeug (ATV-Quad, Schlepper, „SoilRover“: Abb.2-1) montiert. Im effizienten Feldein-

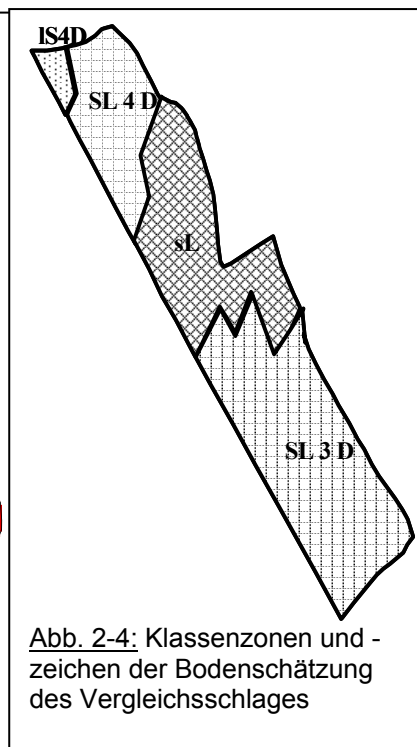
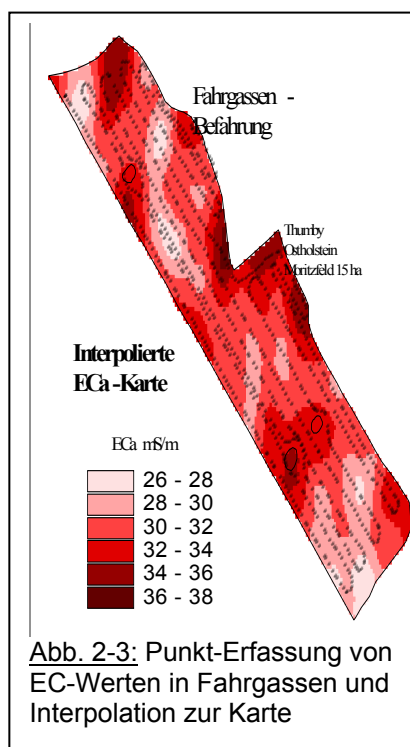
satz werden in den Spuren der Fahrgassen die EC-Werte im (1-3) Sekundentakt über eine serielle Schnittstelle und ein Datenkabel auf den Datenlogger (Laptop) übertragen. Bei der Kalibrierung und Auswertung muss bedacht werden, dass alle Metallteile und Stromleiter in Nähe der Sonde zu Störungen führen. Die Daten der EC-Werte werden auf dem Bordrechner mit der genauen Uhrzeit versehen und gemeinsam mit den Positionsdaten des dGPS-Empfängers gespeichert. Synchronisierung der beiden Datenströme liefert dann bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2-4 m/s räumlich hochaufgelöste Messwerte (ca. 5*20m, s.a. Messpunkte in Abb. 2-3). Je nach Fahrgassenbreite und Bodenbeschaffenheit lassen sich so 50-150 ha pro Arbeitstag mit der Bodensonde befahren und auswerten.

Messprinzip: Die Bodensonde EM38 der Firma Geonics besteht, neben dem Gehäuse und dem elektronischen Messmodul, aus zwei elektromagnetischen Spulen im Abstand von 1m. Die Sendespule schickt eine Welle der Frequenz 14,6 kHz in den Boden, die in verschiedenen Bodentiefen unterschiedlich stark elektrische Ströme induziert, die wiederum integrativ über die Tiefen eine schwache, von der Empfangsspule aber messbare Sekundärwelle erzeugen. Deren Intensitäten werden - nach Abgleich mit der Erstwelle - von der Elektronik als spezifische scheinbare Leitfähigkeit (ECa, apparent electrical conductivity) analog auf eine Sichtanzeige und digital über eine serielle Schnittstelle ausgegeben. Dieses Messprinzip und der relative Signalanteil aus einzelnen Tiefen eines Standardbodens bis 2m werden in Abbildung 2-2 veranschaulicht. Aus der Tiefenkurve für den vertikalen (aufrechtstehenden) Betriebsmodus kann entnommen werden, dass die größte Empfindlichkeit bei ca. 4-5 dm liegt, beträchtliche Signalanteile aus dem Unterboden und Untergrund kommen, aber aus dem Oberboden weniger als ein Drittel.



Die Bodensonde EM38 der Firma Geonics besteht, neben dem Gehäuse und dem elektronischen Messmodul, aus zwei elektromagnetischen Spulen im Abstand von 1m. Die Sendespule schickt eine Welle der Frequenz 14,6 kHz in den Boden, die in verschiedenen Bodentiefen unterschiedlich stark elektrische Ströme induziert, die wiederum integrativ über die Tiefen eine schwache, von der Empfangsspule aber messbare Sekundärwelle erzeugen. Deren Intensitäten werden - nach Abgleich mit der Erstwelle - von der Elektronik als spezifische scheinbare Leitfähigkeit (ECa, apparent electrical conductivity) analog auf eine Sichtanzeige und digital über eine serielle Schnittstelle ausgegeben. Dieses Messprinzip und der relative Signalanteil aus einzelnen Tiefen eines Standardbodens bis 2m werden in Abbildung 2-2 veranschaulicht. Aus der Tiefenkurve für den vertikalen (aufrechtstehenden) Betriebsmodus kann entnommen werden, dass die größte Empfindlichkeit bei ca. 4-5 dm liegt, beträchtliche Signalanteile aus dem Unterboden und Untergrund kommen, aber aus dem Oberboden weniger als ein Drittel.

Dieses Messprinzip und der relative Signalanteil aus einzelnen Tiefen eines Standardbodens bis 2m werden in Abbildung 2-2 veranschaulicht. Aus der Tiefenkurve für den vertikalen (aufrechtstehenden) Betriebsmodus kann entnommen werden, dass die größte Empfindlichkeit bei ca. 4-5 dm liegt, beträchtliche Signalanteile aus dem Unterboden und Untergrund kommen, aber aus dem Oberboden weniger als ein Drittel.



Die größte Empfindlichkeit bei ca. 4-5 dm liegt, beträchtliche Signalanteile aus dem Unterboden und Untergrund kommen, aber aus dem Oberboden weniger als ein Drittel.

Kartenerstellung: Die Lage der Messwerte einer Feldbefahrung (Beispiel: 15 ha Schlag in Schwansen, s. Abb.2-3) wird als Punktketten in den Fahrgassen sichtbar.

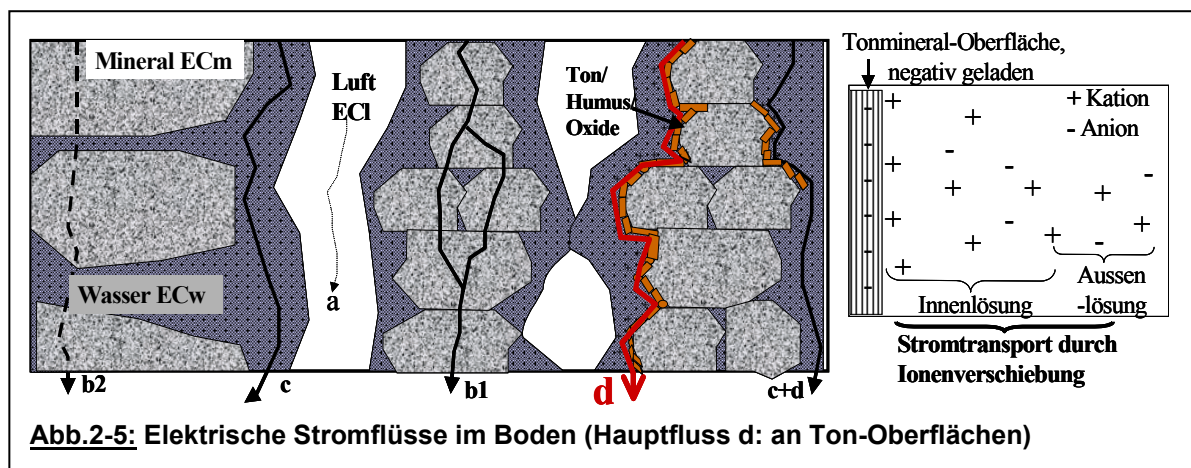
Die elektrischen Bodenleitfähigkeiten werden als interpolierte Karte der EC-Werte dargestellt. Zur Kontrolle der Werte und Kartendarstellung dienen Programme

in Geo-Informationssystemen (GIS). Der Vergleich mit der Bodenschätzungskarte demonstriert die hohe räumliche Auflösung der Bodenleitfähigkeitskarte: wegen des größeren Erhebungsrasters (50m) und den Generalisierungen bei der Kartenerstellung kann die Bodenschätzung nicht alle (hellen) sandigeren Zonen in der Geschiebelehmdecke zeigen.

Bodenfaktoren der elektrischen Leitfähigkeit (ECa): Allerdings bedürfen die Boden-

Bestandteil	EC mS/m
Luft	~0
Minerale	oft ~10 ⁷
Ton-105°C.	<0,1
Ton-lufttrock.	1-10
Ton-feucht	50-100
Temperaturfaktor (je °C.)	3%
Feuchtefaktor (Bo.frisch: je % F.)	5-10%

denkarten der geoelektrischen Leitfähigkeit sorgfältiger Kalibrierung und Interpretation, da elektrische Bodenströme nicht nur vom Tongehalt bzw. der Bodenart abhängen. Nach dem Ohm'schen Gesetz ($I = 1/R \cdot U = EC \cdot U$) ist die elektrische Leitfähigkeit EC gleich dem Kehrwert des Widerstandes R und – bezogen auf die Einheits(lauf)länge 1m – eine Materialgröße des Bodens. Sie hängt in nicht versalzten Böden, außer von der Temperatur (s. Tab.2-5), besonders von deren

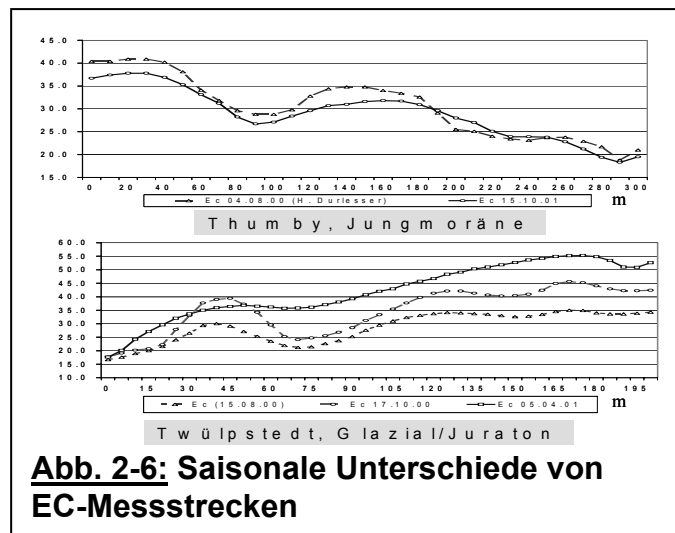


Ton- und Feuchtegehalt ab. Das verdeutlichen die Abbildung 2-5 und Tabelle 2-1.

Während elektrische Stromflüsse in der Bodenluft vernachlässigbar und in den meistens Bodenmineralen sehr gering sind, findet die Hauptleitung (d, s. Abb.2-5) entlang den Feuchtefilmen an den Ton/Humus-Oberflächen statt. Da die Tonminerale an den Oberflächen negativ geladen sind, befindet sich in der benachbarten Boden-Innenlösung eine ausgleichende, hohe Kationendichte, die deshalb ein bevorzugter Transportweg für freie Ladungen darstellt. Getrocknete Tone haben zwar auch eine geringe Leitfähigkeit, mit zunehmender Bodenfeuchte erhöhen sich aber die spezifischen EC-Werte bei trocken-frischen Böden um 5-10% je Gewichts-% Feuchte mit starker Wirkung (s. Tab. 2-1), im feucht-nassen Zustand aber kaum noch (0-2%): erst

erhöhen sich die effektiven Leitbahnen, dann tritt Ionenverdünnung ein. Schrumpfrissbildung kann den Stromtransport behindern.

Saisonale Effekte: Unter Feldbedingungen ließe sich einerseits die Wirkung der verschiedenen Faktoren nur mit extrem hohem Aufwand quantitativ erfassen und berechnen, andererseits treten aber auch Wirkungskomplexe auf. Das gilt besonders für die Ton- und Feuchtegehalte in Böden nach der Vegetationsperiode im Frühjahr, der Hauptkartierzeit. Die komplexen Wirkungen führen im Zeitablauf dazu,



das Wiederholungsmessreihen von Transekten z.T. beträchtliche Differenzen in den EC-Werten aufweisen (s. Abb. 2-6). Zwischen bodenfeuchtem Frühjahr- und abgetrocknetem Herbsttermin treten im holsteinischen Geschiebelehm bis zu 5 mS/m und in Böden aus Tonstein sogar bis über 10 mS/m Differenz auf. Beim Vergleich von Leit-

fähigkeitskarten aus verschiedenen Zeiten zeigt sich aber auch, dass die interpolierten EC-Strukturen der Bodenkarten eine hohe relative Reproduzierbarkeit aufweisen, wenn die zugehörigen Skalen jeweils neu kalibriert werden.

Substrat-Kalibrierung der Leitfähigkeitskarten durch Bodenprofile: Die Haupt-Bodenart im Bodenprofil bis ca. 15 dm bzw. der mittlere Tongehalt sind häufige Ziele der Auswertung von Bodenleitfähigkeitskarten. Die meisten alt- und jungglazialen Böden der Geest und des Hügellandes – das gilt in Übergangsbereichen auch für die Marschen – sind geologisch geschichtet oder bodengenetisch horizontiert, so dass über die Tiefen eines Bodenprofils meistens sehr verschiedene Bodenarten bzw. Tongehalte anzufinden sind. Diese Substratabfolgen kann das Mischsignal der EM38-Sonde prinzipiell nicht auflösen. Neben den o.a. Störgrößen ist dies ein weiterer Grund, dass Karten der EM38-Sonde stets durch Bohrprofile kalibriert oder durch Erfahrungswissen die eingeteilten EC-Klassen bodenkundlich fachgerecht interpretiert werden müssen. Auch die z.T. aus der Geländeform abschätzbare Bodenfeuchte (Restfeuchte nach der Ernte) und Vermoorungen sollten - wie nachfolgend in Beispielen gezeigt - berücksichtigt werden.

EC- und Substratklassen: Sich überlappende EC-Bereiche können - wie in Tabelle

Tab. 2-2: EC-Bereiche von Haupt-Bodenarten (Substrate bis ca. 15 dm)

Nr	EC mS/m*			Kürzel	Substrat-Name	Bodenart-Abfolge n. Kartieranleitg.	Beispiel der Entstehung (ohne Marschen)
	Min	Klasse	Max				
1	1	1-4	7	<i>sX</i>	Sandkies	mS/X, gS//X	Sanderkiese
2	3	4-8	10	<i>xS</i>	Sand	mS//gS, fS/mS	Sander
3	6	8-12	15	<i>SI</i>	Anlehm-Sand	fS/mS, Su2/mS	Flug- über Sandersand
4	10	12-16	20	<i>IS</i>	Lehmsand	Su3/fmS, SI2//SI4	Geschiebesand
5	14	16-20	24	<i>SL</i>	Sandlehm	SI3/Ls4, SI4//Ls3	Decksand-Geschiebelehm
6	18	20-25	30	<i>Ls</i>	Ansand-Lehm	SI4/Ls3, Ls4//Lts	Geschiebelehm (Lg)
7	22	25-30	35	<i>L</i>	Lehm	SI4/Lts, SI2//Tl	Lg (/ Beckenschluff)
8	27	30-35	40	<i>tL</i>	Tonlehm	Ls2/Lt, Lts//Tl	Lg // Beckenton
9	30	35-45	50	<i>LT</i>	Lehmton	Lts//Tl, Ut/Tu	Lg / Beckenton
10	40	45-70	80	<i>IT</i>	Anlehm-Ton	Lt//Tl, Tl//T	Beckenton
11	35	40-60	70	<i>MH</i>	Erd-Niedermoor	Aa/Hn	kolluviertes Niedermoor
12	30	35-45	50	<i>HN</i>	Niedermoor	Hn	Niedermoor

/ über ; // über tiefem; * EM38-Gerät, Schlitten u. Kalibrierung können die Klassen verschieben!

2-2 - bestimmten Substratklassen zugeordnet werden. Aus EC-Werten unter 5 bzw. 10 mS/m ist z.B. mit ziemlich großer Sicherheit auf die Substrate *Sandkiese* (häufig Grob- bis Mittelsande im Ober- bis Mittelboden über Kies im Unterboden/-grund) und *Sande* zu schließen (Fein-Mittelsande über Grobsanden). Verlandete Niedermoore in Senken der kuppigen Jungmoränen weisen – wie schwere Lehmböden - hohe EC-Werte auf, sie können aber oft einfach lokalisiert (z.B. aus Bodenfarbe und Relief) und entsprechend eingestuft werden. Erhöhte EC-Werte in unvermoorten Senken sind je nach Restfeuchte im Herbst um 20-30% des EC-Wertes zurückzustufen. Ein besonderes Problem sind schluffreiche Böden (Löss, glaziale Beckenschluffe, z.T. Marschböden), da die Größenfraktion Schluff die EC-Werte nur wenig (ähnlich dem Sand), aber das nutzbare Wasser (im Gegensatz zum Sand) stark erhöht.

Profil-Bohrungen: Mit dem „SoilRover“ (s. Abb. 2-1) lassen sich Standard-Kernbohrungen bis 15 dm sehr effizient durchführen, an denen die Bodenarten per Fingerprobe festgestellt werden. Häufig reichen wenige, anhand der EC-Karten repräsentativ ausgewählte Kontrollorte aus, um die EC-Karte eines Schläges bodenkundlich fachgerecht zu kalibrieren. Dafür können auch eigene Bohrstock-Sondierungen von Hand oder – begrenzt auf die Tiefe bis 8 dm – Grablochdaten der Bodenschätzung herangezogen werden. Die Bohrsondierungen lassen sich auch vorteilhaft mit einer lokalen Sammlung von Oberbodenproben für Bodenanalysen kombinieren (in Monitor-Pedozellen von ca. 20*20m für bessere Nährstoff-Trendanalysen).

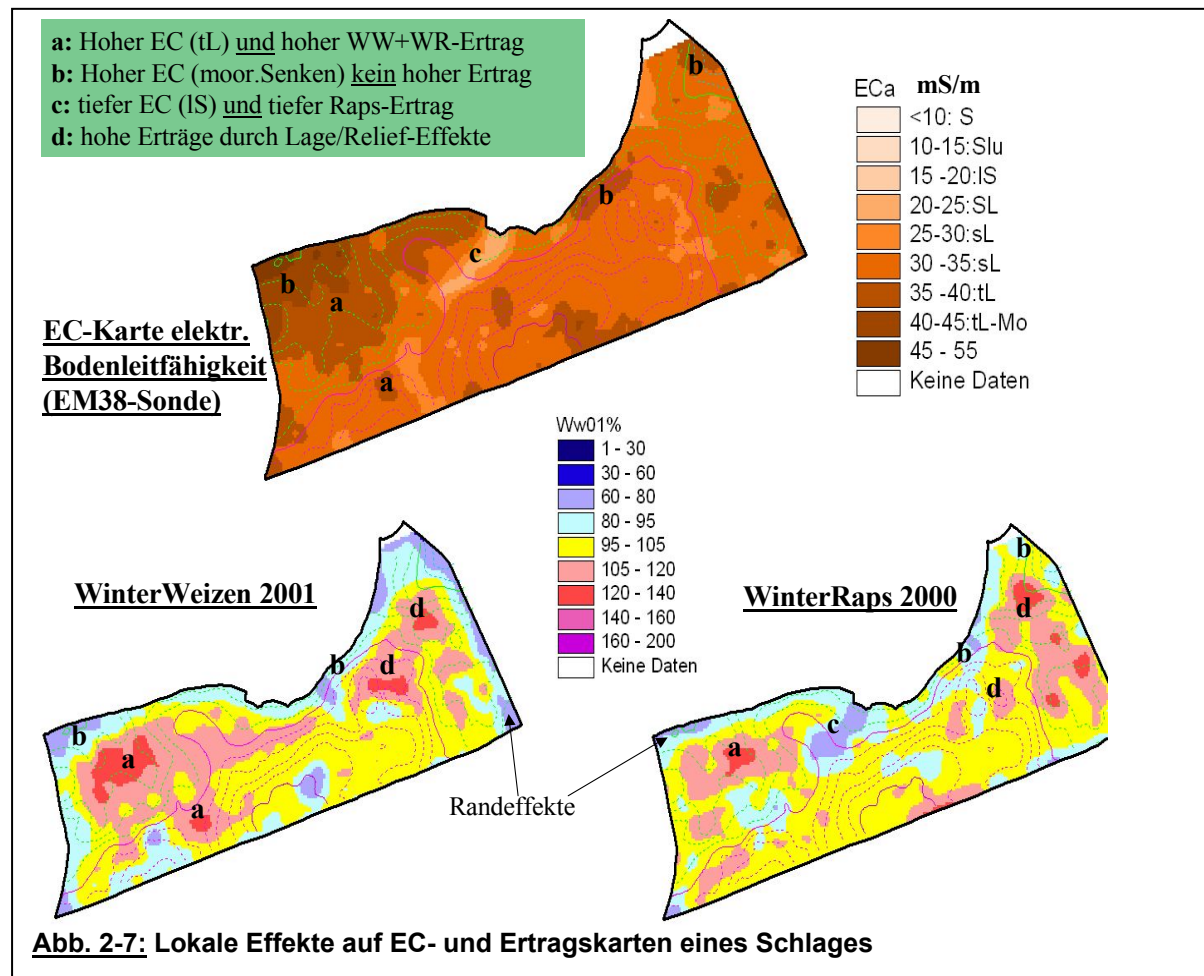
Standortkundliche Interpretation und landwirtschaftliche Nutzung der EC-**Karten:** In Untersuchungen zum Leistungspotential von Bodenleitfähigkeitskarten

Tabelle 2-3: Korrelation EC zu Bodenparametern

Gebiet/Zone	Parameter	Korrelation r
trocken	Ertrag	0,6 – 0,9
wechselfeucht	Ertrag	0,3 – 0,8
0-1m	Tongehalt	0,5 – 0,9
0-1m	nWK*	0,4 – 0,7
0-1m	KAK**	0,5 – 0,9

*nutzb. Wasserkapazität **Kationen-Aust.kapaz.

wurden die Korrelationen zu verschiedenen Bodenparametern in diversen Testgebieten in Deutschland analysiert (Herbst 2001, Reimer 2002). Nach beschriebener Sub-



stratkalibrierung konnten besonders zum mittleren Tongehalt und gebietsweise auch zum nutzbaren Bodenwasser insgesamt befriedigende Korrelationen r festgestellt werden, die in Tabelle 2-2 zusammengefasst sind. Durch lokale Eichungen lassen sich die Korrelationen noch erhöhen, allerdings sind die Beziehungen zum Ertrag stark vom Klima bzw. Jahr abhängig. Während in niederschlagslimitierten Trockengebieten Mitteldeutschlands meistens mittlere bis hohe Korrelationswerte gefunden werden, können im wechselfeuchten Klima Norddeutschlands in niederschlagsreichen Jahren naturgemäß niedrige Beziehungsmaße auftreten. Da Erträge von Kulturpflanzen stets durch viele Standort- und Managementfaktoren gleichzeitig und in-

teraktiv geprägt werden, kann die Bodenleitfähigkeitskarte dazu dienen, um lokal sowohl Standort- als auch Managementeinflüsse jahresweise besser zu unterscheiden und zu deuten (s. Abb. 2-7 mit Feucht- und Trockenjahr).

Zusammenfassung: Die Bodenleitfähigkeitskarten der geoelektrischen EM38-Sondierung werden zunehmend im präzisen Landbau bzw. der GPS-gestützten Teilflächenbewirtschaftung eingesetzt, um effizient „nWK-optimierte“ Hof-Bodenkarten für eine Reihe von Anwendungen (Applikationen) mit der variablen Ratentechnik (VRT) durchzuführen. Sie lassen sich aber auch in der konventionellen Landbewirtschaftung vorteilhaft einsetzen, um viele Maßnahmen standortgerecht auszuführen. Dazu gehören

- **effizientere Bodenschätzung und Bodeninventur:** gezielte, repräsentative Bodensondierungen für verschiedene Zwecke.
- **bodenartspezifische Kalkung und Grunddüngung:** Beziehungen zu Tongehalt und Austauschkapazität dienen als Grundlage für bedarfsgerechte Düngungsraten.
- **ertragsorientierte Aussaat und Stickstoffdüngung:** Korrelationen zum Ertrag bzw. Ertragsziel werden in standortspezifische Raten umgesetzt.
- **Bodenbearbeitung und Erosionsschutz:** Das Bodenmanagement wird lokal „bodengerecht“ ausgeführt. Es ist aber zu beachten, dass bei hoher Substratschichtung die Oberbodenausprägung vom Gesamt-Substrat bzw. der Haupt-Bodenart abweicht.
- **Drain- und Bauplanung:** bodenartspezifische Detailbewertungen und Maßnahmen reduzieren Risiken und Kosten.
- **Sickerwasserschätzung und Nitrat-Management in gefährdeten Gebieten: Die sog. Austauschrate (von jährlichem Sickerwasser zur Wasserkapazität im Wurzelraum) lässt sich mit Bodenleitfähigkeitskarten weitaus differenzierter und sicherer kartieren und in der Beratung einsetzen.**

2.2 Durchführung und summarische Statistiken

In den beiden Wasserschutzgebieten (WSG) wurden von den Ingenieurbüros (Dr. Reimer, Geris und Dr. Müller-Thomsen, IGLU) mit Zustimmung der betroffenen Landwirte jeweils fünf Felder ausgewählt, die im Oktober 2006 mit der EM38-Sonde erfasst wurden (s. Abb. 2-8). Lediglich eine Fläche (*bra1*) im WSG Bad Bramstedt konnte im Inventurzeitraum nicht befahren werden. Die Sondierungen fanden je nach Kulturart und –zustand in den bereits angelegten Fahrgassen (24m Abstände) oder – auf Feldern mit Futtergras oder Silomaisstoppeln - in freier Befahrung mit Reihenabständen unter 20m statt. Die Taktrate der Messungen der spezifischen (scheinbaren) elektrischen Bodenleitfähigkeit (EC in mS/m) war zwei Sekunden (0,5 Hz), so dass je nach Fahrtgeschwindigkeit daraus Messpunktabstände in den Fahrgassen von 4-6m resultieren. Die Lagegenauigkeit der Messpunkte ergibt sich aus der der dGPS-Ortung mit ca. 1-2 m (Trimble mit Küstenfunkkorrektur, der Versatz von EM38-Sensor und GPS-Antenne von 9m wird über die dGPS-Geschwindigkeit korrigiert). Aus den Lagekoordinaten der Ortung (dezimale Länge und Breite im WGS84-System) und den EC-Messwerten der EM38-Sonde wurden nach formaler Wertprüfung und Orthoprojizierung in EU-gerechte ETRS-Koordinaten (UTM83-32n) die EC-Karten der Punktmessungen sowie der interpolierten Bodenleitfähigkeiten der folgenden Abbildungen erstellt. Aus den ebenfalls aufgezeichneten Uhrzeiten und Höhen (dGPS-z-Wert) sowie der Anzahl der Messpunkte wurden die in Tabelle 2-4 folgenden Statistiken je Feld zusammengestellt. Die Messpunktdichten liegen zwischen 72 und 303 je ha und die Befahrleistung von 1.3 bis 4.1 Minuten je ha (ohne Zufahrt-, Rüst- und Auswertungszeiten). Die Statistiken der mit der EM38-Sonde gemessenen Bodenleitfähigkeitswerte zeigen z.T. beträchtliche Unterschiede zwischen den Felder und den Wasserschutzgebieten. Relativ hohe Mittel der Bodenleitfähigkeiten weisen die Felder *bra2* und *bra3* des WSG Bad Bramstedt und das Feld *hus4* des WSG Husum auf. Die EC-Messungen können aber durch die Kalibrierung der EM38-Sonde, durch die Geräte- und Bodentemperatur und die Bodenfeuchte in der absoluten Höhe beeinflusst werden (um etwa 3-8 mS/m, s. HERBST, 2002; Beitrag LAMP/HERBST/REIMER im Bauernblatt S-H, s.o.). Deshalb sind oft die in Karten aufgezeigten Bodenmuster oder die Streustatistiken reproduzierbarer und signifikanter für relative Bodenunterschiede. Dies zeigt sich deutlich im Vergleich der beiden Wasserschutzgebiete. Die Feldern des WSG Husum des WSG sind – gemessen

an der Standardabweichung s - deutlich heterogener ($s > 1$), die des WSG Bad Bramstedt sind relativ homogen ($s \leq 1 \text{ mS/m}$).

Tab. 2-4: Messwert-Statistiken der EM38-Befahrungen
(Kürzel: bra=WSG Bad Bramstedt, hus= WSG Husum)

Kürzel	Name/Auswahl	Kultur 2006	ha	EM38 pro ha Punkte Minuten		Leitfähigk. mS/m von-bis Mittel s			Höhe m
Bra2	Beesen	Mais	7.3	303	3.0	5-17	10.6	1.3	18-24
Bra3	Waldkoppel	WR	11,1	193	4.1	12-21	15.7	1.0	nb
Bra4	Lohnplatz	Mais	5,2	72	1.3	3-10	7.7	0.6	27-30
Bra5	Fahrenfeld	WR	31	96	nb	2- 9	4.4	0.9	20-25
Hus1	Maaskoppel	WW	6.89	89	1.5	6-18	9.9	1.7	10-15
Hus2	Heitkamp	ZF	8.56	96	3.0	4-14	7.9	1.3	10-20
Hus3	Hausfenne	WW	16.5	103	1.7	5-20	8.4	1.6	5-16
Hus4	Groenland	WW	7.49	122	2.7	5-40	10.2	3.8	8-16
Hus5	Hebrichhük	ZF	5.11	169	2.9	1-19	8.6	2.5	4-14

Die Lage der Untersuchungsfelder, die von oben nach unten und links nach rechts durchnummeriert (*bra1 – bra5*) sind, ergibt sich aus den Übersichten in Abb. 2.8.

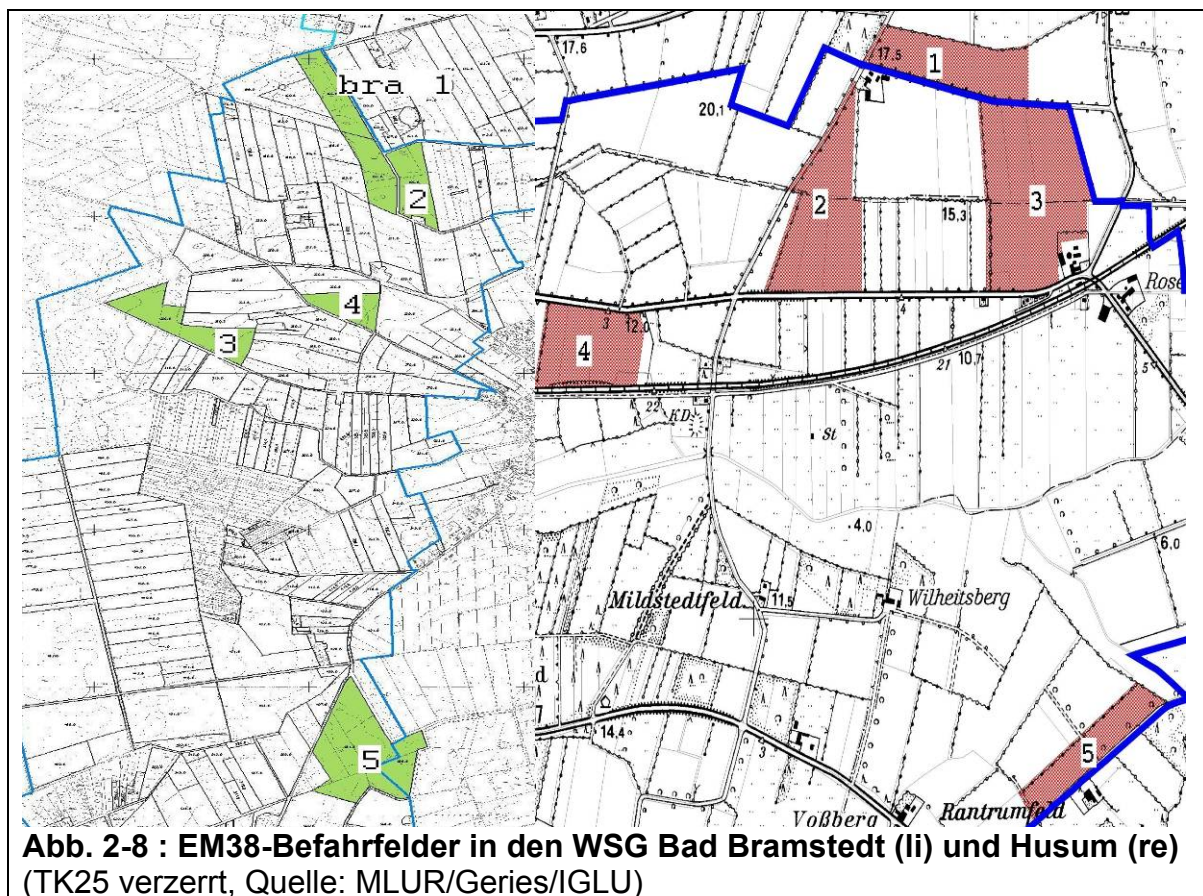
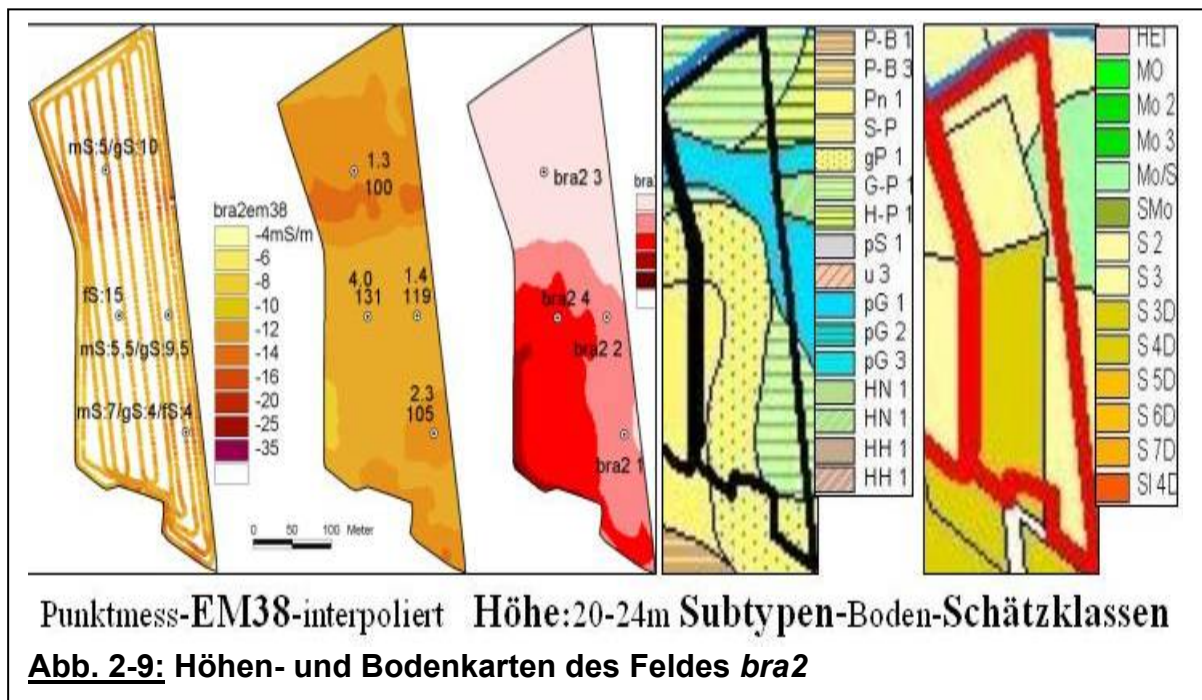


Abb. 2-8 : EM38-Befahrfelder in den WSG Bad Bramstedt (li) und Husum (re)
(TK25 verzerrt, Quelle: MLUR/Geries/IGLU)

2.3 Bodenleitfähigkeits- im Vergleich mit Bodentypen- und Bodenschätzungskarten

Die feldweise unterschiedliche Bodenausstattung der beiden Wasserschutzgebiete wird in den Abbildungen 2-9 bis 2-12 bzw. 1.13 bis 1.17 zusammen- und gegenübergestellt. In den Feldern des **WSG Bad Bramstedt** ergeben sich folgende Vergleiche.

Bra2: Eine podsoliierte Gley-Rinne (blau, pG1) und die Podsol-Gleye (grün- querschaf-fiert GP1) werden durch erhöhte EC-Werte (>12 bzw. >10 mS/m) detek- tiert, die vergleyte Podsol-Schleife (gelb-gepunktet, gP1 aus Sander) wird örtlich stark versetzt vom Norm-Podsol (gelb, Pn1 aus Flugsand) differenziert (EC-Werte 8- 10 bzw. <8). Die Klassen der Bodenschätzkarte sind dagegen wenig differenziert.



Bra3: Das Feld wird durch die Bodenschätzung einheitlich klassifiziert und durch die EM38-Sonde überwiegend nur in der EC-Stufe 14-16 dargestellt. Erhöhte EC-Werte (>16) zeigen vernässte, humusreiche und mit glazolimnischen Schluffen sedimentier- te Toteis-Senken (NO, Mitte) an. Die typologischen Bodenunterschiede (gelber Pn1 zu ocker-schraff. PB1) werden auch durch Bohrdaten (s.Karte Punktmess.) nicht nachvollzogen.

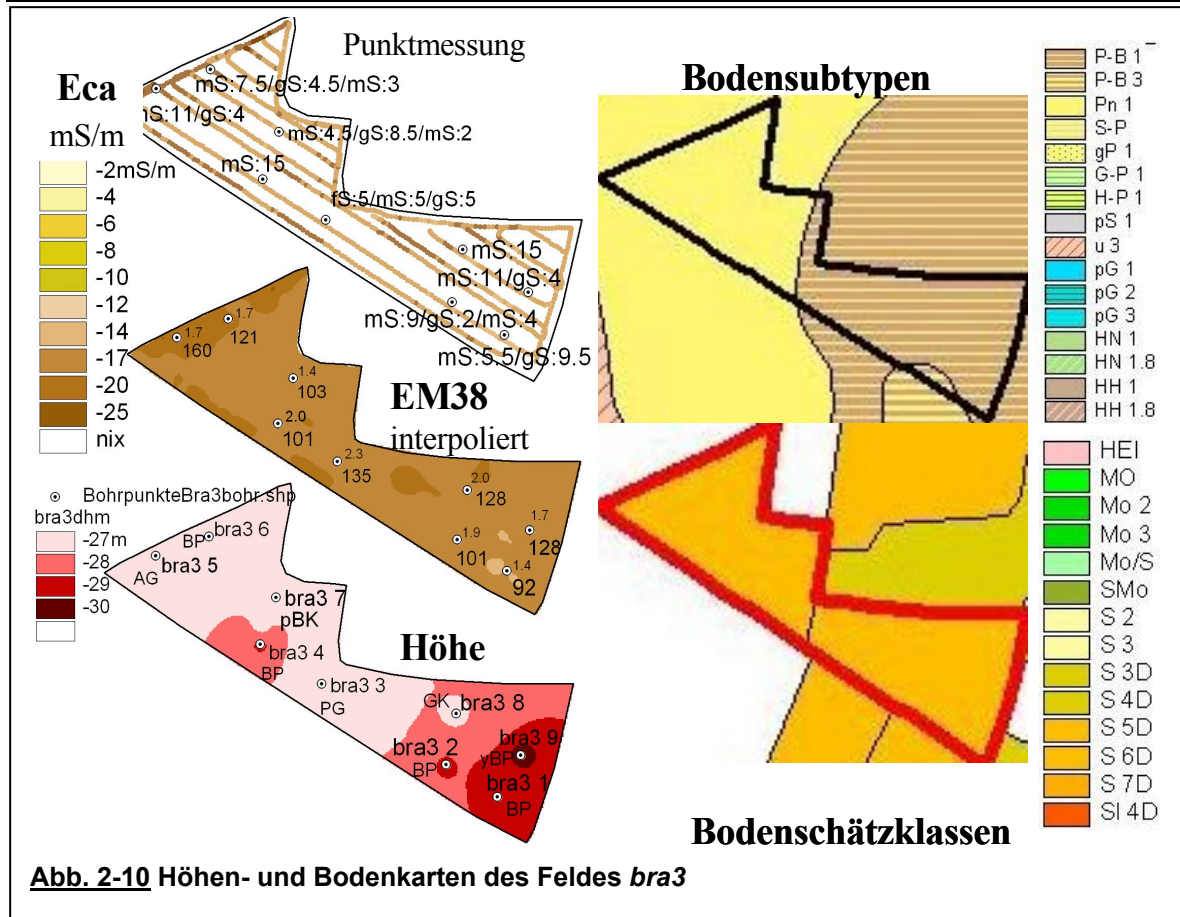


Abb. 2-10 Höhen- und Bodenkarten des Feldes bra3

Bra4: Das Feld ist seitens der Bodensubtypen (PB1) und der Schätzklassen als ein-

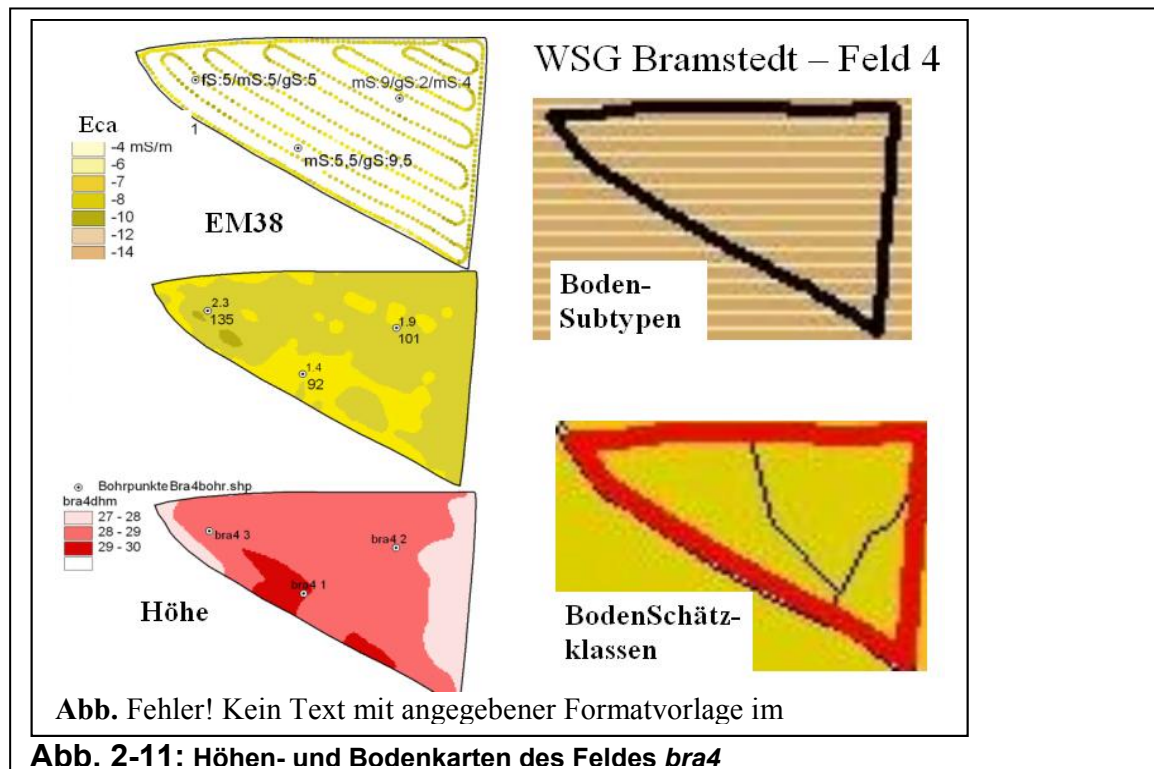
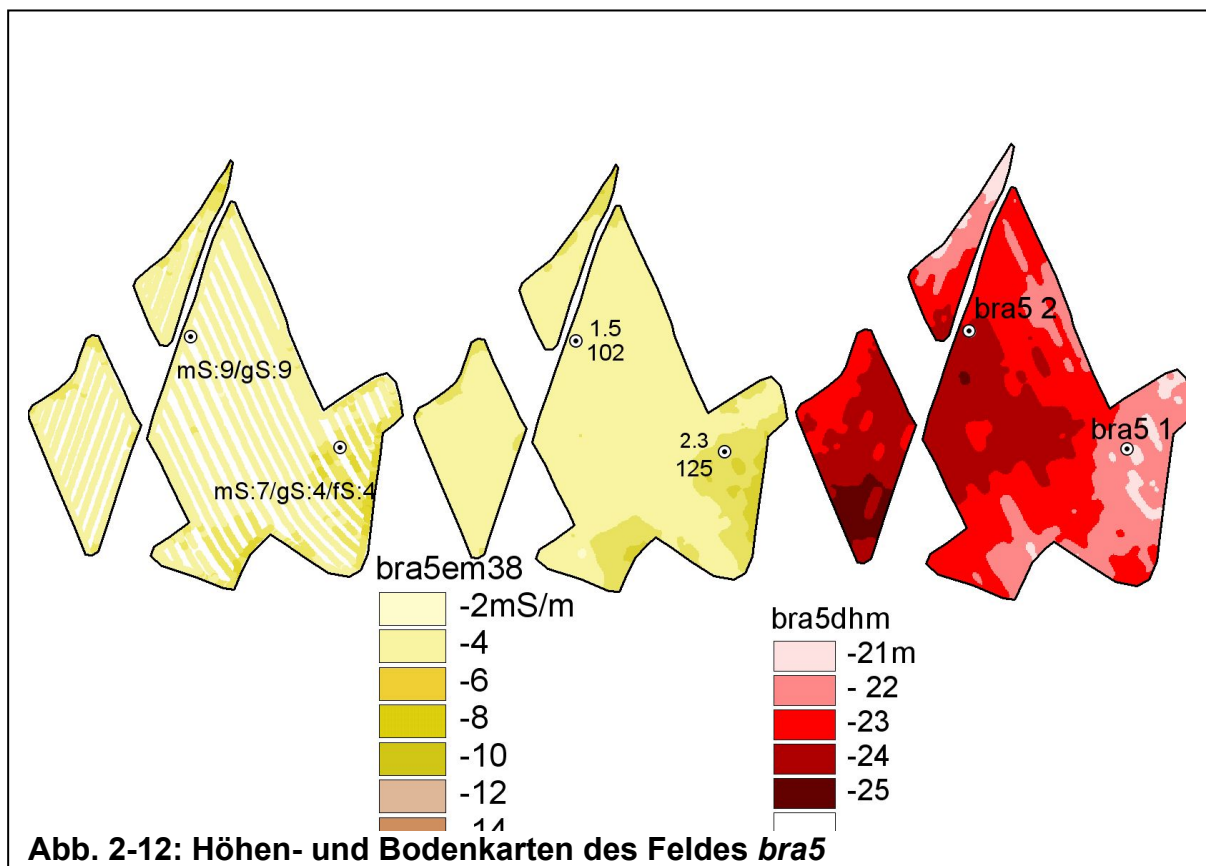


Abb. Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im

Abb. 2-11: Höhen- und Bodenkarten des Feldes bra4

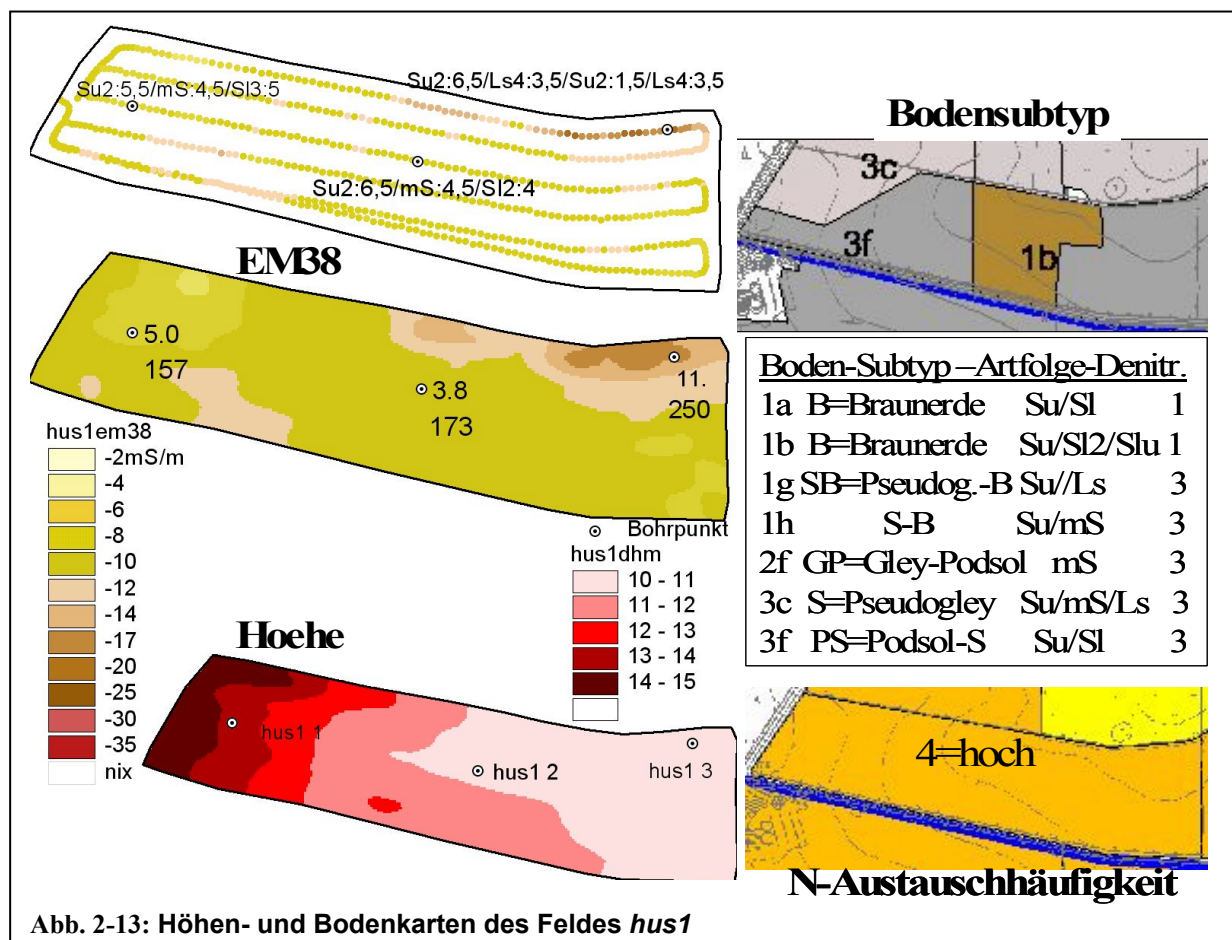
heitlich ausgewiesen. Auch die EC-Werte variieren nur von 6-10. EC-Werte der Stufe 6-7 zeigen glaziale (Grob)Sander an (s.a. Bodenart-Bohrdaten Profil 1).

Bra5: Auch die Teilflächen des fünften Untersuchungsareals wurden durch die typologische und fiskalische Bodeninventur – ebenso wie die mit der EM-Sonde – als weitgehend homogen auskartiert. Die Unterscheidung der beiden Podsol-Subtypen (Pn1, gP1) wird durch die EM38-Karte nicht nachvollzogen, aber der Gley-Podsol (GP1) wird auch geophysikalisch, allerdings flächig differenzierter, angezeigt.



Im **WSG Husum** ergeben sich folgende Gegenüberstellungen der bodenkundlichen Kartierbefunde aus den fünf Versuchsfeldern.

Hus1: Das Feld wird in der Bodenschätzung und der daraus abgeleiteten Nitrat-Verlagerungsgefährdung (s. N-Austauschhäufigkeit 4=hoch) als einheitlich kartiert. Die Aufteilung der Bodensubtypen und der daraus folgenden Denitrifikationspotentiale (1 bzw.3, s.Legende) werden durch die EM38-Sonde nicht nachvollzogen. Diese zeigt in der NO-Ecke und abgeschächt in SW durch erhöhte Werte (>10 statt flächig 7-10 mS/m) lehmige Saale-Geschiebe im Untergrund an (Bohr. hus1 3).



Hus2: Das Feld erscheint in der Bodenschätzung bzw. im N-Austausch als einheitlich, ebenso wie in N/Mitte mit der EM38-Sonde. Die Abgrenzung des Pseudogley-Areals kann auf Grund der EC-Messwerte verfeinert werden: es gibt am südlichen Unterhang eine rein sandige und eine sandig/lehmige Variante.

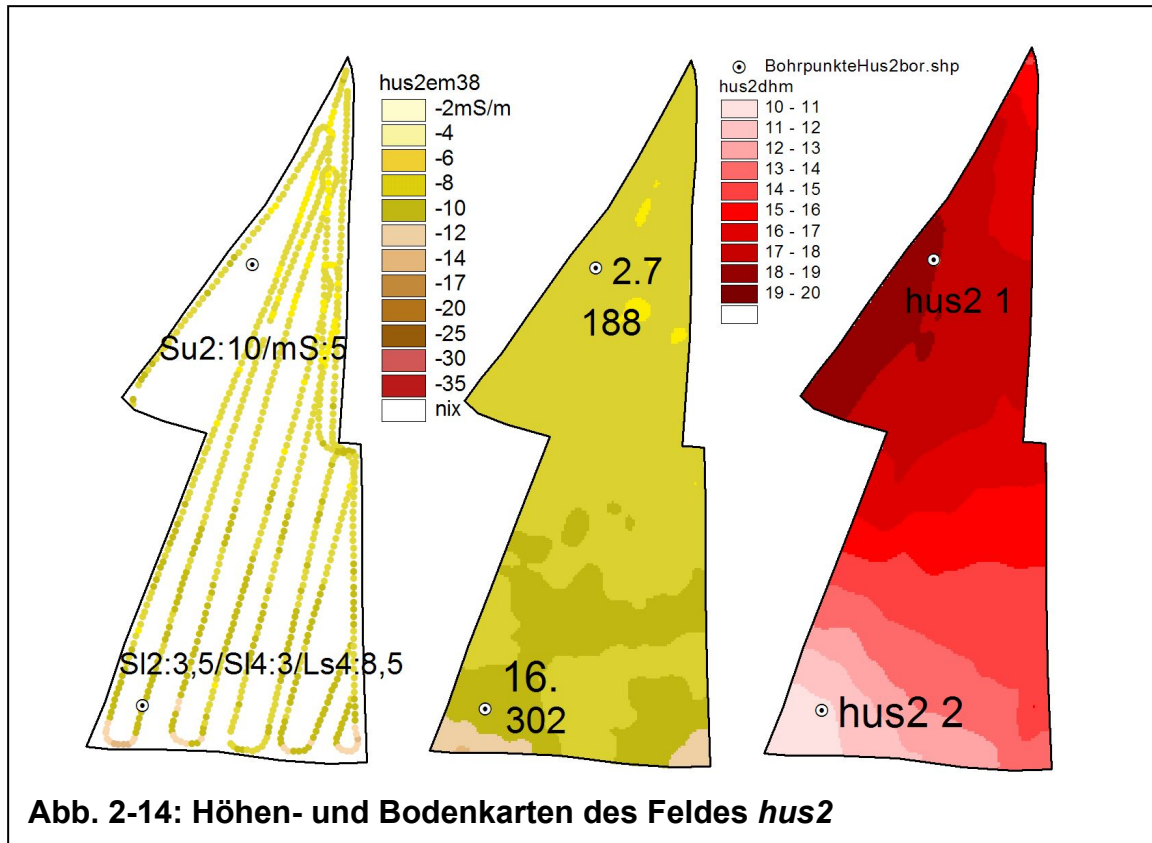


Abb. 2-14: Höhen- und Bodenkarten des Feldes *hus2*

Hus3: Das Parzellen-Versuchsfeld (s. N-Sensor u. Erträge) wurde durch die Bodenschätzung bzw. im N-Aus-tauschhäufigkeit einheitlich klassifiziert. Die EM38-Sonde

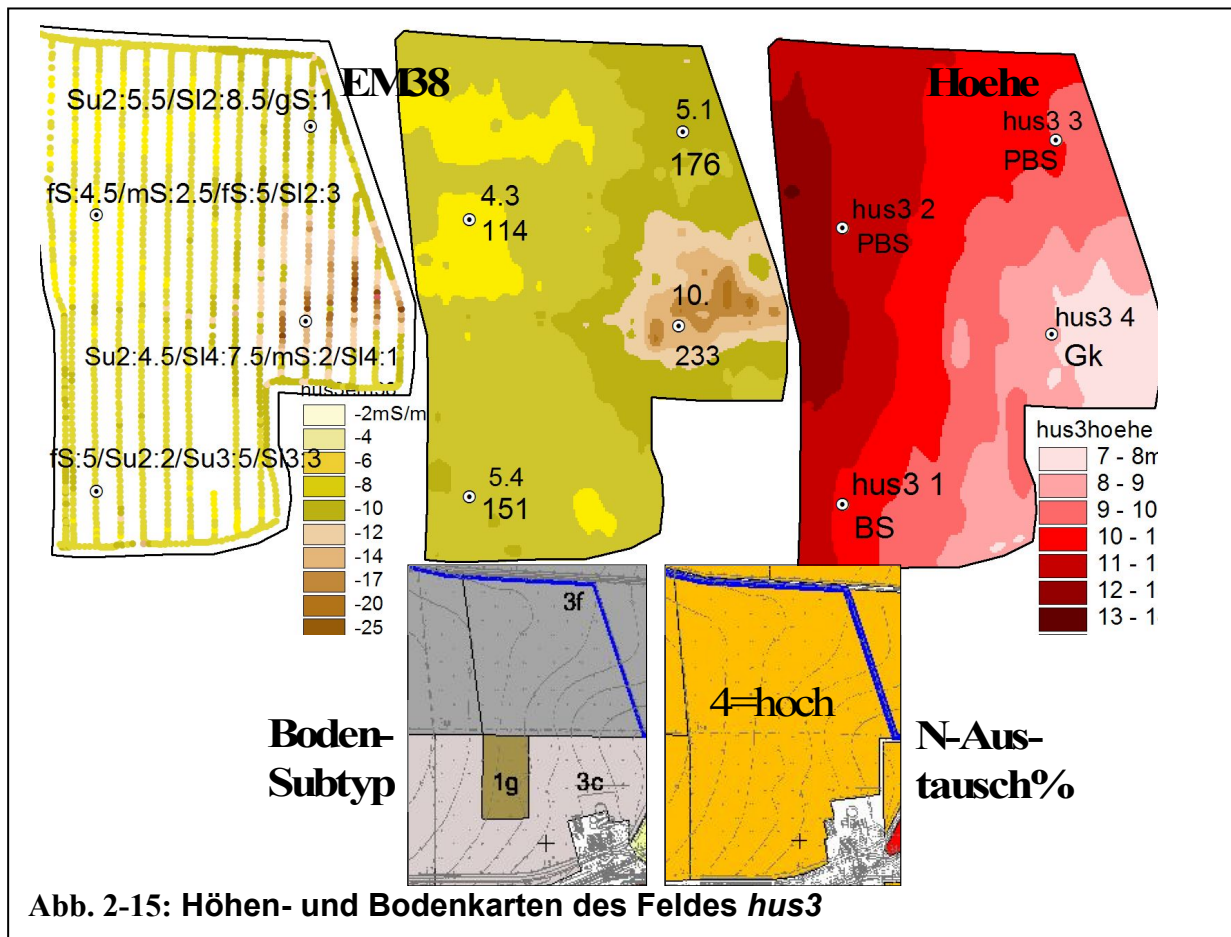


Abb. 2-15: Höhen- und Bodenkarten des Feldes *hus3*

weist aber beträchtliche Differenzierungen von 5-26 mS/m aus, die durch die Bohrdaten mit unterschiedlichen Bodenartfolgen korreliert wurden (Flug-/Sande/r bis Geschiebelehm, FK: 114-233 mm). Die Ausweisung der hydromorphen Boden-Subtypen (1g, 3c, 3f) kann durch die EC-Karte stark modifiziert werden.

Hus 4: Die Leitfähigkeiten der EM38-Sonde von 5 bis über 35 mS/m werden durch reine Geschiebesande im westlichen Kuppen- bis zu schweren Geschiebelehmen im östlichen Unterhang/ Senkenbereich hervorgerufen (s. Kalibrier-Bohrdaten). Die Karten der Bodenschätzung und der Bodentypen zeigen die Bodenunterschiede nur sehr grob an, sie können durch die EM38-Sondierung wesentlich verbessert werden. Hinsichtlich der Nitratverlagerung wäre sogar eine tiefergehende geophysikalische Sondierung (mit der EM31-Sonde oder dem „Pluripol“) angebracht, um herauszufinden, ob auch im Kuppenbereich die saalezeitliche Geschiebelehme die Decksande unterlagern (und das Nitratriisiko für das Trinkwasser reduzieren).

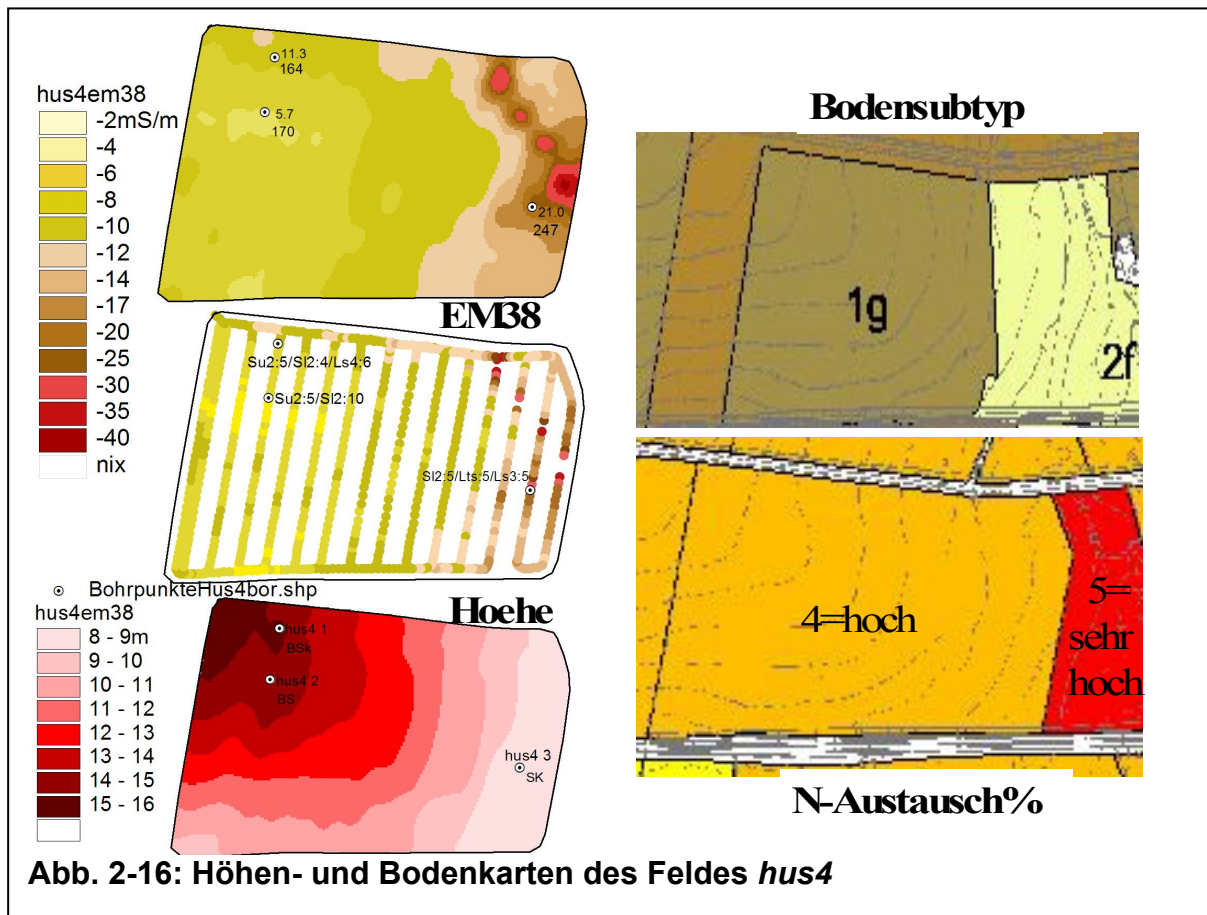


Abb. 2-16: Höhen- und Bodenkarten des Feldes hus4

Hus5: Das Feld erscheint großflächig sandig (s. Bodenschätzung bzw. N-Austauschkarte), die Bohrkalibrierung der EM38-Sondierung zeigt aber, dass im S-Mittebereich sich Flugsande am Oberhang abgelagert haben und die Decksande im nördlichen und südlichen Teil in unterschiedlicher Mächtigkeit Geschiebelehme überlagern. Die Bodentypenkarte kann durch die EC-Mess-werte differenziert werden. Auch hier sollten tiefergehende geophysikalische Sonden die Mächtigkeit der Sanddecken detailliert aufdecken helfen, in dem „Nitratfenster“ (und „Nitratmauern“) ausgewiesen werden.

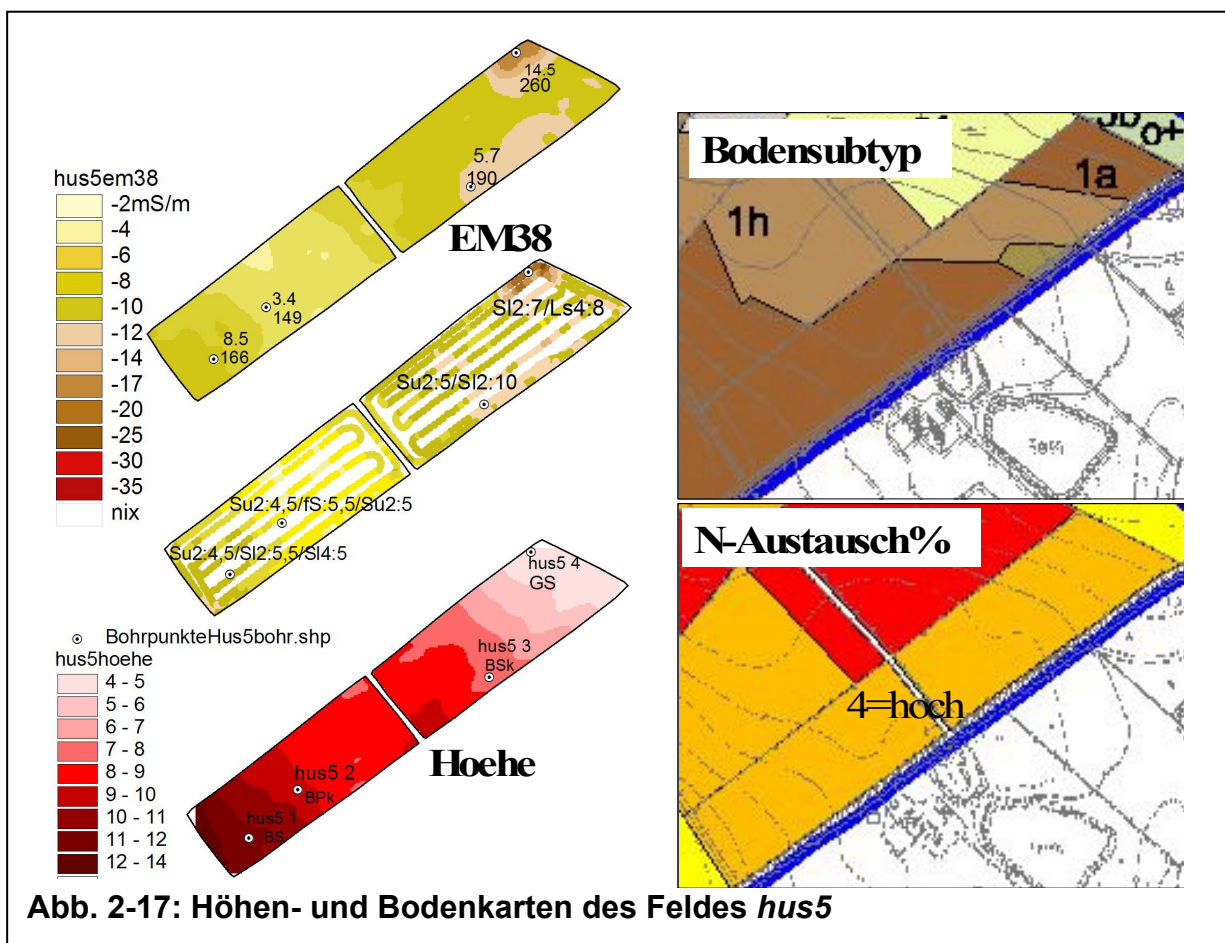


Abb. 2-17: Höhen- und Bodenkarten des Feldes hus5

2.4 Zusammenfassung und Kommentare zu den WSG-Bodengebieten

WSG Bad Bramstedt: Das Wasserschutzgebiet liegt auf Bodenbildungen einer saalezeitlichen, im Höhenbereich 22-30m eingeebneten Sanderplatte mit vorherrschenden Sand-Körnungsfraktionen, die durch Wechsellagerungen von Feinsanden (oft Flugsande), Mittel- und Grobsanden (fluvioglaziale Sanderfacies) gekennzeichnet sind. Die Sander-Geogenese bedingt örtlich stark wechselnde Strukturen, die nur durch sehr enge Bohrkartierungen „präzise“ zu erfassen und auf großmaßstäbige Bodenkarten (<1:10000) auszugrenzen wären. Da Grob- im Vergleich zu Feinsanden eine sehr unterschiedlich Halte- und Nutzkapazität für Bodenwasser und das mobile Nitrat haben, wäre eine detaillierte Bodeninventur der hochanstehenden Grobsander, wie sie in der Bodenkarte 1:25000 (Blatt Kaltenkirchen, Punktkreis-Schraffur) auf Grund weiter Bohrdichten nur angedeutet werden kann, für das Wasserschutzgebiet-Management sehr wichtig: es sind Zonen mit extrem hohem Nitrat-Verlagerungsrisiko. Leider hilft in der Differenzierung von Sandern auch die geophysikalische EM38-Sonde wegen folgender Einschränkungen nur bedingt weiter:

- Die Leitfähigkeit Eca reagiert stark auf **Tongehaltsunterschiede**, die in verschiedenen Sand- (und Schluff)-Fraktionen häufig kaum oder nicht messbar gegeben sind. Die aufgezeigten EC-Unterschiede in den Feldern machen oft nur wenige (1-3 mS/m) Messeinheiten aus und sie korrelieren kaum mit den geschätzten Tongehalten im Profil (s. obere Bohrdaten auf den interpolierten Eca-Karten). Dennoch können sehr niedrige EC-Werte, z.B. 2-5 mS/m, hochanstehende Grobsande anzeigen. Dabei hilft, dass
- die **Restfeuchte im Bodenprofil** nach der Ernte, d.h. zur Hauptkartierzeit, in gleichermaßen tonarmen Feinsanden und Schluffen gegenüber Grobsanden meistens höher ist, was die Leitfähigkeit erhöht (indirekte Indikation). Dies gilt aber auch für reliefbedingte Feuchteunterschiede, die allerdings aus dem Gelände zu erkennen und zu berücksichtigen sind.

Trotz dieser Einschränkungen stellt die EM38-Sonde auf Grund ihrer wesentlich höheren Messdichte auf (s. Tab. 2-4) – gegenüber der Bodenschätzung (im 50m-Raster erkundet) und der mittelmaßstäbigen pedogenetischen Bodenkarte (Bohrabstände im Mittel >100m) - auch in sanderdominierten Geestlandschaften eine wichti-

ge und effiziente Kartierhilfe dar. Sie kann aber die bodenkundliche Bohrkartierung nicht ersetzen, sondern bedarf dringend deren Kontrolle und Überprüfung.

Kommentar Gerics zu den untersuchten Flächen: Der Bewertung im Vergleich der vorliegenden Vorinformationen (Bodenschätzung, Bodenkarte und EM 38-Messung) kann zugestimmt werden, wobei die Unterschiede der EM-38 Messung auf einem geringen Niveau ausfallen (s.a. nächstes Kap.). Allerdings ermöglicht die expertengestützte Interpretation der vorliegenden Daten incl EM-38 eine schärfere Abgrenzung der bodenkundlichen Standortunterschiede. Die Ergebnisse bestätigen die Erfahrungen aus dem Gebiet Elmshorn Köhnholz/Krückaupark (Abschlußbericht 2004 liegt dem MLUR vor).

Bei der Standortbewertung der untersuchten Flächen, insbesondere bra3, spielten neben der Umsetzung der N-Düngung noch weitere Standorteinflüsse eine Rolle. Insbesondere der Waldschatten im Südwesten und Reliefeinflüsse sind in die Interpretation der EM38-Messung zu integrieren.

WSG Husum: Das WSG befindet sich im Übergang zur Husumer (Hohen) Geest, in der mehreren Stellen der untersuchten Felder die aus äolischen Flug- und fluvioglazialen Sander-Sanden bestehenden Deckschichten von lehmigen Saalegeschieben so hochanstehend unterlagert werden, dass deutliche Effekte im EM38-Signal auftreten, so dass die geoelektrische Sonde ein sehr effizientes Hilfsmittel für die genaue Bodeninventur in derartigen Geestgebieten ist. Die Lehmgeschiebe konnten mit den 15 dm Bohrprofilen weitaus öfter als mit 10-8 dm Bohrsondierungen, insbesondere mit den Grablöchern der Bodenschätzung. Es ist zu vermuten, dass die Geschiebelehme die Decksande (i.w.S.) weitaus großflächiger, aber tiefer als 10-15 dm unterlagern und dann dort eine weitaus höhere Schutzfunktion für das Trinkwasser darstellen, als die „Nitratfenster“ reiner mächtiger Sande. Es sollte untersucht werden, ob mit tiefergehenden geoelektrischen Sonden eine Detailkartierung dieser „Fenster“ bzw. „Mauern“ möglich ist.

Kommentar IGLU: Die EM 38 Kartierung stellt ein Hilfsmittel zur Erfassung des oberflächennahen Verlagerungsrisikos aus den landwirtschaftlichen Nutzflächen dar. Die Übereinstimmung mit den nach Feldmethoden ermittelten Werten ist bei entsprechender Variabilität, wie sie im WSG Husum Mildstedt vorliegt, recht gut. Die hohe Auflösung der Methode stellt die Grundlage für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung von Flächen dar wie sie mit den klassischen Feldmethoden nicht erreicht werden kann. Somit ist das Ergebnis EM 38 Kartierung als Hintergrund-

Hofbodenkarte ein brauchbares Hilfsmittel für den Einstieg in die teilflächenspezifische Grundwasserschonenden Bewirtschaftung.

2.5 Eignung EM38-gestützter Hof-Bodenkarten zur genauen Ausweisung von Nitrat-Austragsrisiken

Voranehend wurden an Hand von 9 Feldern lokale Bodenkarten i.w.S. vorgestellt und partiell aufgezeigt wie geoelektrische Bodenleitfähigkeiten zur Verbesserung hochaufgelöster Bodentypen- und Bodenartenkarten verwendet werden können. Die Taxa der Bodensubtypen dienen im Trinkwasserschutz hauptsächlich dazu das

- **Mineralisierungspotential** aus Humusgehalt und -menge von kartierten Anmooren und Niedermooren und damit eine zusätzliche N-Quelle sowie
- erhöhte **Denitrifikationspotential** von hydromorphen Bodentaxa und damit eine mögliche N-Senke des Bodens bzw. Untergrunds anzuzeigen.

Für beide Zielgrößen liefert die Em38-Sonde nur begrenzte Aussagemöglichkeiten, die nicht schon aus vorhandenen Karten oder dem Gelände ähnlich präzise gemacht werden könnten. Zur Abschätzung des Denitrifikationspotentials aus der Bodenhydromorphie muss generell kritisch angemerkt werden, dass die aktuelle (rezente) Dynamik mit der aus an der Eisenfleckung am Bodenprofil diagnostizierten, früher entstandenen Morphologie oft wegen großflächiger Drainierungen und Vorflutbereinigungen nicht mehr übereinstimmt. Hier soll deshalb auf die dritte Zielgröße einer Bodeninventur in WSG eingegangen werden, der flächenscharfen Ausweisung des standortspezifischen

- **Nitrat-Verlagerungsrisikos** aus der prozentualen *Austauschhäufigkeit* (%AH), für die die aus der klimatischen Wasserbilanz resultierende Sickerrate (mm SR) auf die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum mm FK(We) bezieht.

Als klimatisch bedingte Sickerraten werden die vom WSG-Management mit 350mm (WSG Bad Bramstedt) bzw. 380mm (WSG Husum) festgestellten Größen übernommen, so dass im Folgenden nur noch die die Größen FK bzw. We als zu kartierende Variablen der Bodeninventur zu betrachten sind. Die Ableitung der FK und We erfolgt entsprechend der bodenkundlichen Regeln (5. KARTIERANLEITUNG, KA5) aus den Daten der Bohrstock-Aufnahmen, insbesondere der Bodenarten und der geschätzten Bodendichte. Die Abfolgen der Bodenarten, die an den 1,5m tiefen Bohrprofile durch Fingerproben festgestellt wurden, wurden in die o.a. EC-Messwertkarten der Felder schon eingefügt, ebenso wie die Feldkapazitäten im ef-

effektiven Wurzelraum und die aus den Bodenarten abgeschätzten mittleren Tongehalte der gesamten Bodenprofils bis 1,5m Tiefe (s. interpolierte EC-Karten). Eine Zusammenstellung aller wichtigen Profil- und Horizontdaten der 34 erbohrten Boden-sondierungen befindet sich in Tabelle 2-5. Für das WSG Husum ergibt sich eine Beziehung der EC- zu den FK-Werten mit hoher Bestimmtheit (90%, s. Abb. 2-18), so dass mit Hilfe der Regression, $FK = 80 + 10,5 \cdot EC$, Karten der Feldkapazität (und ggf. des N-Verlagerungsrisikos) erstellt werden können (s. Abb. 1.17). Die Variationsbreite der Feldkapazitäten der beiden Beispielfelder hus 3 und hus4 von ca. 100 – 250 mm zeigt, dass auch das Nitrat-Verlagerungsrisiko entsprechend unterschiedlich einzustufen ist. Die Beziehung ist für die Daten des WSG Bad Bramstedt wegen der o.a. Gründe weniger streng ($B=14\%$) und deshalb nicht quantitativ nutzbar.

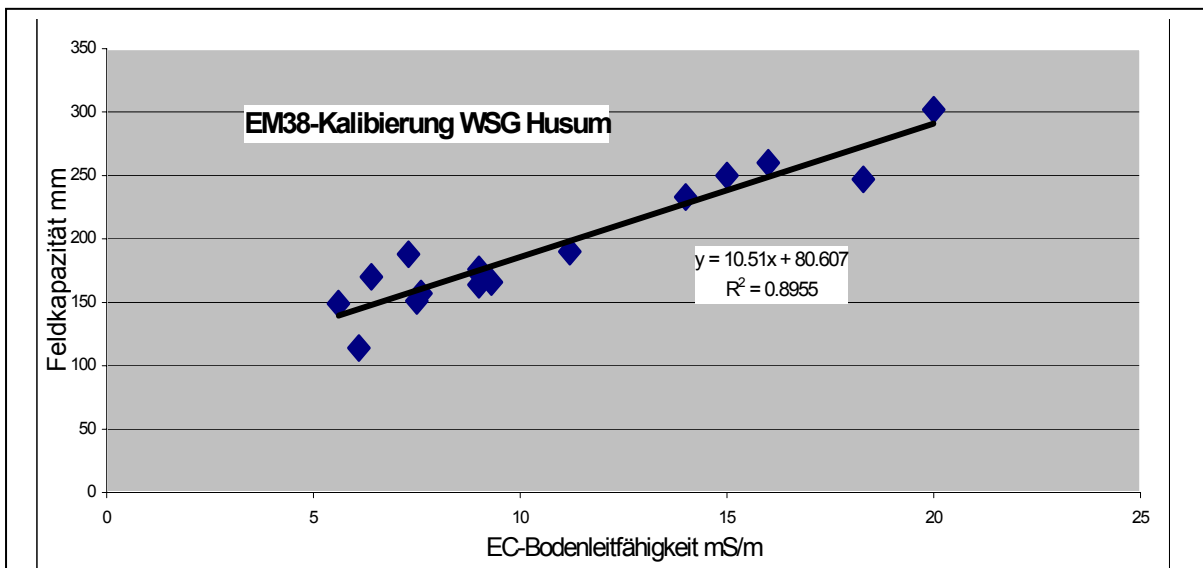


Abb. 2-18: EM38-Kalibrierfunktion zur Schätzung der FK

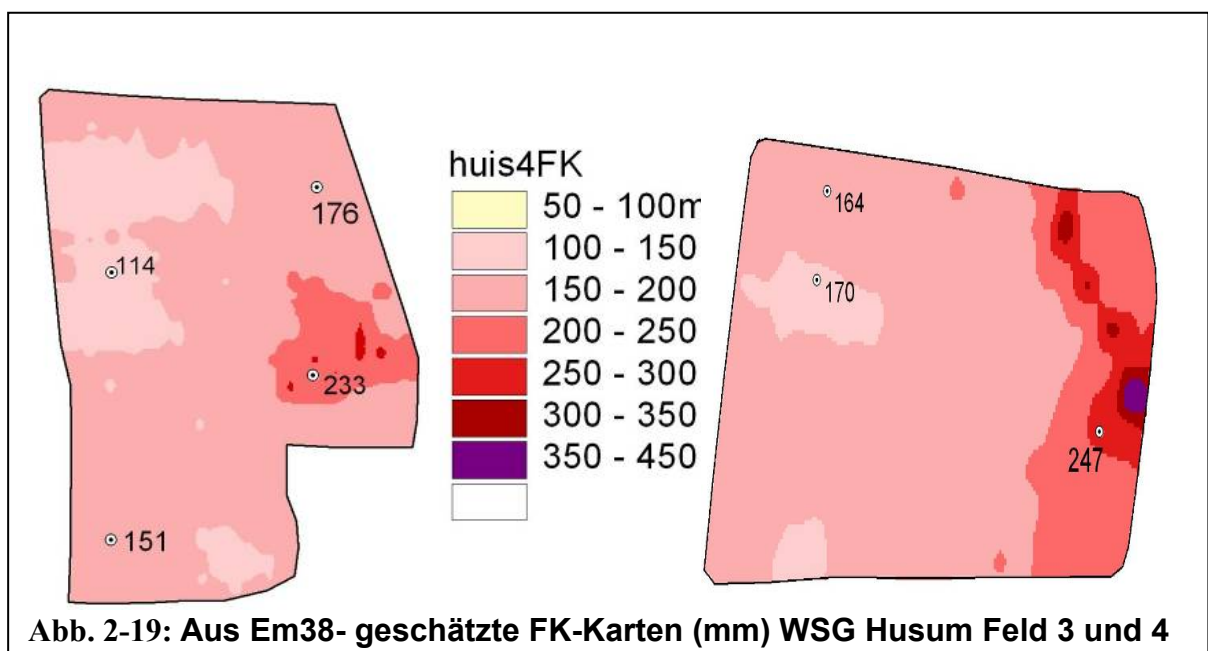


Abb. 2-19: Aus Em38- geschätzte FK-Karten (mm) WSG Husum Feld 3 und 4

2.6 Kommentare zur Eignung und Akzeptanz der EM38-gestützten Bodeninventur

Tabelle 2-5: Profil- und Horizontfolgedaten von 1,5m Kalibrier-Bohrprofilen

ID	Su	Horfolge	Bartfolge	We	nF	Ton	FK	EC
bra2	GK	Ap:3.5/M:2/Go:1.5/Gr:8	mS:7/gS:4/fS:4	60	54	2,3	105	12,
bra2	GK	Ap:3.5/M:2/Go:2/Gr:7.5	mS:5.5/gS:9.5	55	61	1,4	119	9,5
bra2	GP	Ap:3.5/Go:7.5/Gr:4	mS:5/gS:10	50	54	1,3	100	12,
bra2	BP	Ap:3.5/M:1.5/Bv:2/Cv:8	fS:15	60	61	4,0	131	10,
bra3	BP	Ap:3.5/Bv:2/Cv:9.5	mS:5.5/gS:9.5	55	49	1,4	92	14,
bra3	BP	Ap:3.5/Bv:5.5/Cv:6	mS:9/gS:2/mS:4	60	59	1,9	101	15,
bra3	PG	Ap:3.5/M:1.5/Bv:1/Go:4/G	fS:5/mS:5/gS:5	60	68	2,3	135	16,
bra3	BP	Ap:3.5/Bv:9.5/Cv:2	mS:15	60	58	2,0	101	15,
bra3	AG	Ap:3.5/Aa:3.5/Go:4/Gr:4	mS:11/gS:4	70	86	1,7	160	18,
bra3	BP	Ap:3.5/M:1.5/Bv:2.5/Cv:7.	mS:7.5/gS:4.5/mS:3	60	64	1,7	121	17,
bra3	pB	Ap:3.5/M:1/Bv:2/Cv:8.5	mS:4.5/gS:8.5/mS:2	50	54	1,4	103	15,
bra3	GK	Ap:3.5/M:5.5/Go:2/Gr:4	mS:15	60	68	2,0	128	15,
bra3	yBP	Ap:3.5/M:5.5/B v:2/Cv:4	mS:11/gS:4	60	68	1,7	128	15,
bra4	BP	Ap:3.5/Bv:1.5/Cv:10	mS:15	60	51	2,0	98	7,5
bra4	BP	Ap:3.5/Bv:3.5/Cv:8	mS:15	60	52	2,0	98	7,8
bra4	BP	Ap:3.5/M:1.5/B v:2/Cv:8	mS:5/gS:2/mS:8	50	53	1,9	97	8,3
bra5	AG	Ap:3.5/M:2/Bv:1.5/Go:4/G	mS:7/gS:4/fS:4	60	65	2,3	125	5,8
bra5	BP	Ap:3/Bv:6/Cv:9	mS:9/gS:9	60	52	1,5	102	4,0
hus1	SB	Ap:4/S:11	Su2:5.5/mS:4.5/SI3:	60	95	5,0	157	7,6
hus1	PB	Ap:4/Bv:2.5/S:8.5	Su2:6.5/mS:4.5/SI2:	65	107	3,8	173	9,0
hus1	GY	Ap:6.5/S:3.5/Ap:1.5/Go:3.	Su2:6.5/Ls4:3.5/Su2:	80	134	11,4	250	15,
hus2	BS	Ap:3.5/M:2.5/Bv:4/Cv:5	Su2:10/mS:5	70	114	2,7	188	7,3
hus2	S	Ap:3.5/S:11.5	SI2:3.5/SI4:3/Ls4:8.5	100	152	16,5	302	20,
hus3	BS	Ap:3.5/M:1.5/S:10	fS:5/Su2:2/Su3:5/SI3	70	81	5,4	151	7,5
hus3	PB	Ap:4.5/Bv:2.5/S:8	fS:4.5/mS:2.5/fS:5/SI	60	57	4,3	114	6,1
hus3	PB	Ap:5.5/Bv:1.5/S:8	Su2:5.5/SI2:8.5/gS:1	70	109	5,1	176	9,0
hus3	Gk	Ap:3.5/M:1/Go:7.5/Gor:2/	Su2:4.5/SI4:7.5/mS:	80	143	10,0	233	14,
hus4	BSk	Ap:3.5/M:1.5/Bv:4/S:6	Su2:5/SI2:4/Ls4:6	60	99	11,3	164	9,0
hus4	BS	Ap:3.5/M:1.5/Bv:4/Cv:6	Su2:5/SI2:10	60	102	5,7	170	6,4
hus4	SK	Ap:3.5/M:1.5/S:10	SI2:5/Lts:5/Ls3:5	80	117	21,0	247	18,
hus5	BS	Ap:3.5/M:1/Bv:5.5/Cv:5	Su2:4.5/SI2:5.5/SI4:5	60	106	8,5	166	9,3
hus5	BPk	Ap:3.5/M:1/Bv:5.5/Cv:5	Su2:4.5/fS:5.5/Su2:5	60	92	3,4	149	5,6
hus5	BSk	Ap:3.5/M:1.5/Bv:5/Cv:5	Su2:5/SI2:10	70	121	5,7	190	11,
hus5	GS	Ap:3.5/M:3.5/S:3/Go:5	SI2:7/Ls4:8	80	141	14,5	260	16,

2.7 Nutzung von Grablochdaten der Bodenschätzung zur Kalibrierung vom EM38-Karten

Da Kernbohrungen mit hydraulischen oder Hand-Bohrgeräten aufwendig sind und von Landwirten nur widerwillig akzeptiert werden, wenn sie wegen ihrer Bohrtiefe Drainagen beschädigen können, soll untersucht werden, ob zur punktuellen Kalibrierung von EM38-Mess-daten auch die Daten von Grablöchern der Bodenschätzung zu verwenden sind. Freundlicherweise wurden dafür seitens des Landesamtes für Natur und Umwelt (LANU-Flintbek, Dr. Christensen) die neuerdings digital verfügbaren Schichtmerkmale und Klassenzeichen aus dem WSH Bad Bramstedt zur Verfügung gestellt. Der Vergleich der Grabloch- mit den EC-Daten zeigt für dieses Gebiet, dass die bereits o.a. geringe Differenzierung der EC-Daten eine Kalibrierung kaum zulässt. Ein erhöhter EC-Wert für Grabloch 5773/14 zeigt die schluffige 2. Schicht an.

Die Daten aus dem WSG Husum wurden vom LANU für Anfang 2007 zugesagt und können dann diesen Bericht ergänzen. Dort sind wegen der größeren Unterschiede der EC-Werte bessere Kalibriermöglichkeiten für Grablochdaten zu erwarten.

Tabelle 2.6: Punktueller Vergleich von Grablochdaten und elektrischen Leitfähigkeiten

Are al	Flur-/ GI-Nr	Klasse	BZ	1. Schicht	2.Schicht	3.S.	EC mS/m
Bra2	5773 / 13	Gr S IIIa	23	rh3 S 1,5	ort3,v3 S	br S	10
	5773 / 14	Gr S IIa	36	mo3 S 2	br,schl3 S-	fr S	14
	5773 / 15	AGr S 4 D	21	rh3-h2 S= 2,5	gb3 S,st3		10
Bra3	5672 / 5	A S 5 D	18	rh3 S 2,5	br,rost4-glb S		11
	5672 / 3	A S 5 D	19	rh3 S 1,5	br,rost3glb S,st3		10
Bra4	5772 / 6	A S 3 D	29	h3-h2 S 3	glb S,schl3		8,5
Bra4	5769 / 7	A S 5 D	16	rh3 S 3	br,ort3 S,st3		4
	5769 / 6	A S 5 D	18	rh3 S 2	gb3 S 0,5	br gS	4
	5769 / 5	A S 5 D	19	mo1,rh3 S 1,5	ei3rost3br S 1,5	rost S	4,5
	5769 / 4	Gr Mo/S a3	29	to3,r3 Mo 1,5	br,v3 S		6
	5769 / 2	GrA SMoa3	30	to3,r2Mo,s4 2	to Mo,s4 1	br S	4,5

3. Versuche zur N-Düngung

3.1 Versuchstechnik

In diesem Kapitel soll vor allem auf die Sensortechnik zur Erfassung des N-Bedarfs und die Applikationstechnik eingegangen werden.

3.1.1 Sensortechnik zur Erfassung des N-Bedarfs

Optische Informationen dienen seit jeher als Informationsquelle über den Ernährungs- oder Gesundheitszustand von Pflanzen. Wie die Arbeiten von Reusch (1997) und Thiessen (2002) gezeigt haben, besteht eine enge Beziehung zwischen dem Chlorophyllgehalt der Blätter und dem Stickstoffbedarf der Pflanze.

Ausgehend von dieser Beziehung wurde von Reusch (1997) ein Sensorsystem entwickelt, welches an einem Fahrzeug montiert ist und die Reflexion von Tageslicht aus dem Pflanzenbestand misst. Aus diesen optischen Informationen kann dann anhand eines vorab definierten Algorithmus eine an den Bedarf des Bestandes angepasste Stickstoffmenge in Echtzeit errechnet und an das Applikationsgerät weitergeleitet werden.



**Abb. 3-1: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Reflexionssensors
Erfassung – Berechnung – Regelung der Ausbringungsmenge in Echtzeit
(Yara, 2004, geändert)**

Vom N-Sensor werden zum einen das einfallende Tageslicht (Globalstrahlung) und zum anderen das vom Bestand reflektierte Licht erfasst. Daraus können dann von der Lichtintensität unabhängige Reflexionsgrade errechnet werden (Abb. 3-2). Die Reflexionsgrade geben Aufschluss über den Chlorophyllgehalt und die Photosyntheseaktivität, denn je mehr Pigmente im Blatt enthalten sind, desto größer ist der Absorptionsquerschnitt für die lichtabhängige Phase der Photosynthese. Wie bereits erwähnt, lassen sich mit der Reflexion im sichtbaren Licht (450-700 nm) die Pflanzenfarbstoffe, besonders Chlorophyll, bestimmen und im nahen Infrarotbereich (700-900 nm) die interzellulären Zwischenräume und Blattflächen.

Allgemein ist aus den Modellen und Experimenten folgendes festzustellen: mit zunehmender Chlorophyllkonzentration der Blätter sinkt die Rotreflexion, während mit zunehmendem Blattflächenindex die Infrarotreflexion steigt.

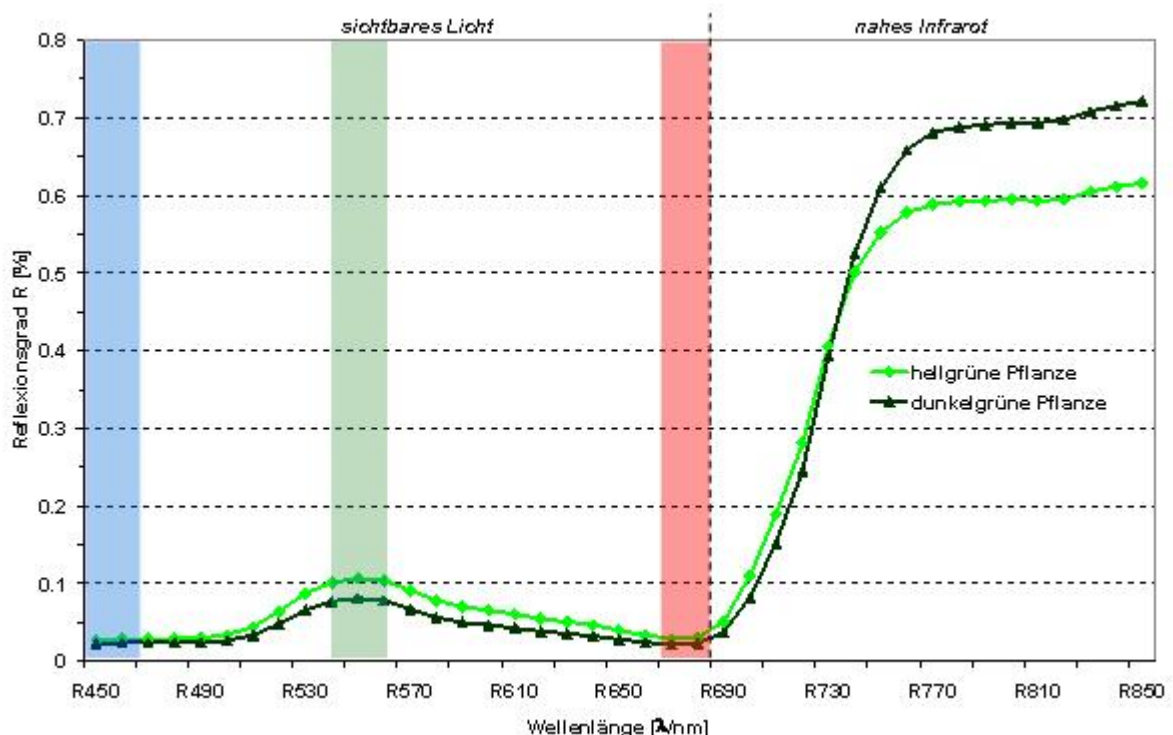


Abb. 3-2: Reflexionsspektren bei Getreide mit unterschiedlicher N-Versorgung bei BBCH 32

Reusch (1997) und Thiessen (2002) haben in ihren Arbeiten, um das Reflexionsspektrum (s. Abb. 3-2) zu quantifizieren, verschiedene Reflexionsindizes berechnet. Diese wurden dann in Beziehung zum Chlorophyllgehalt und schließlich zum Nährstoffbedarf gesetzt. Die nachfolgenden Indizes („Sensorwerte“) wurden von Reusch

als auch Thiessen als optimal für die Bemessung der Stickstoffmenge und des Blattflächenindex angesehen:

$$[1] \quad \text{REIP} / \text{nm} = 700 + 40 \frac{(\text{R}670 + 780)/2 - \text{R}700}{(\text{R}740 - \text{R}700)}$$

Der in Gleichung [1] dargestellte Reflexionsindex zeigt eine gute Korrelation zu den Hilfsgrößen Chlorophyllkonzentration und Blattflächenindex. Der REIP (red-edge inflection-point) wird auch als Wendepunkt zwischen größter Absorption und Reflexion zwischen sichtbarem Rot und nahen Infrarot bezeichnet.

Für die Quantifikation grüner Biomasse wird von beiden Autoren häufig der Infrarot-zu-Rot-Index („IR/R“) verwendet (Gleichung [2]).

$$[2] \quad \text{IR} / \text{R} = \frac{\text{R}_{780}}{\text{R}_{670}}$$

Hierbei werden die typischen Bereiche (vgl. Abb. 3-2) der starken Chlorophyllabsorption (670nm) und Blattreflexion (780nm) benutzt. Durch die Quotientenbildung tritt eine positive Korrelation zum Blattflächenindex und Chlorophyllgehalt auf.

Weitere in der Literatur beschriebene Indizes (NDVI oder SAVI) stellen Transformationen des Infrarot-zu-Rotindex dar, bei denen sich lediglich der Wertebereich ändert, so dass der NDVI nach Thiessen (2002) vor allem mit der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung korreliert und der SAVI unempfindlicher gegenüber der Bodenfarbe reagiert (vgl. Huete, 1988).

Die Werte des Infrarot-zu-Rot-Indexes reichen von 1 (nackter Boden) über 3 (vereinzelte Pflanzen) bis hin zu 50 (sehr dichter Bestand). Dieses Verfahren gibt jetzt die Möglichkeit, die Masse des Pflanzenbestandes berührungsfrei zu messen. Dadurch sind die Düngeeffekte oder die Bestandesentwicklung dokumentierbar.

Diese Überlegungen zu Chlorophyll und Biomasse berücksichtigt Yara bei der Entwicklung des N-Sensors für die Praxis. Nach den Informationen des Herstellers werden 2 Sensorwerte miteinander in Beziehung gesetzt. Der erste Sensorwert steht für die Chlorophyllkonzentration, der zweite für die relative Biomasse (Blattflächenin-

dex). Die genauen Wellenlängen für die Sensorwertberechnung sind jedoch nicht veröffentlicht, da dies als Know-how des Herstellers bezeichnet wird.

Für die Anwendung sind zwei Faktoren wichtig:

- das Niveau der N-Gabe
- die Steigung der N-Gabe – zwischen schwachem und gutem Bestand.

Der N-Sensor gibt einen Reflexionswert, der seinerseits mit dem standortgemäßen Düngenniveau verknüpft werden muss. Es existieren verschiedene Schnelltestverfahren, um den N-Bedarf an der Pflanze direkt zu bestimmen. Genannt seien hier der Nitratschnelltest, Nitratecheck und der N-Tester. Die beiden Erstgenannten sind Verfahren bei denen die Nitratkonzentration im Pflanzensaft chemisch ermittelt und anhand des Entwicklungsstadiums (BBCH-Stadium) und der Fruchtart die Höhe der N-Gabe festgelegt wird. Der N-Tester ist ein optisches Messverfahren, der durch Transmissionsmessungen direkt den Chlorophyllgehalt im oberen Blatt bestimmt und anhand von Sortenkorrekturen den N-Bedarf zum jeweiligen BBCH-Stadium angibt (vgl. Wollring et al., 1998). Die Kalibrierung erfolgte zum Düngetermin auf dem betriebsüblichen Niveau der konstanten N-Düngung.

Die „klassische“ Funktion wird vom Hersteller zu den Entwicklungsstadien BBCH 32-59 empfohlen. Die Anpassung der Düngung erfolgt hier nach dem Prinzip einer Reduktion der Düngermenge sobald der Bestand gut entwickelt ist, also eine hohe Chlorophyllkonzentration und viel Biomasse-Entwicklung bietet (s. Abb. 3-3).

Besonders bei einer geringen Pflanzenentwicklung im Frühjahr wird der zweite Sensorwert (S_2) für die Biomasse stärker berücksichtigt, indem ein Schwellenwert für die Biomasse eingeführt wurde, bei dessen Unterschreitung die Applikationsmenge auf das Minimum zurückgefahren wird. Das Minimum kann vorab vom Landwirt definiert werden, so dass eine Überdüngung auf Teilflächen mit schlechtem Feldaufgang vermieden wird.

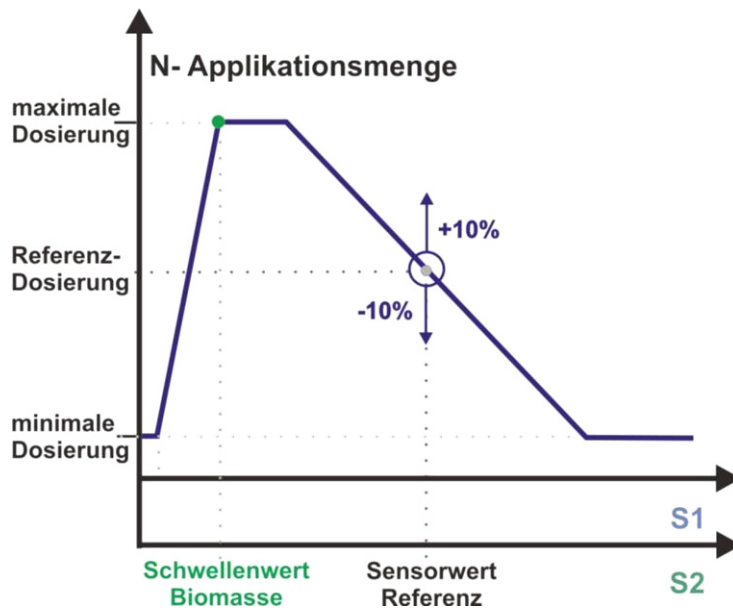


Abb. 3-3: klassische Regelfunktion N-Sensor (n. Yara, 2001, geändert)

Die Steuerfunktion muss durch eine Kalibrierung auf das jeweilige Düngeniveau eingestellt werden. In den Abbildungen ist dies durch die Referenzdosierung gekennzeichnet. Der Anstieg ist durch den Hersteller vorgegeben, so dass die Referenzdosierung, die Biomasse-Schwellenwerte sowie die maximale und minimale Dosierung vom Anwender variiert werden können. Während der Düngung kann die Dosierung in $\pm 10\%$ -Abstufungen vom Nutzer verändert werden.

Zusätzlich bietet der N-Sensor die Möglichkeit zum „map-overlay“. Hierbei wird die Echtzeiterfassung („online sensing“) und Regelung der Stickstoffausbringung mit einem Kartieransatz („mapping approach“) verknüpft. Um sich nicht nur auf den Sensorwert für die Empfehlungsberechnung zu beschränken, kann hier zusätzlich die Information der Hof-Bodenkarten hinterlegt und verknüpft werden.

3.1.2 Eingesetzte Applikationstechnik

On-Farm-Research Versuche haben das Ziel, unter Praxisbedingungen mit betriebsüblicher Technik Einflussgrößen auf die Ertragsbildung zu untersuchen. Die Düngung auf den Versuchsschlägen wurde mit einem 90 kW-Schlepper und einem Anbaudüngerstreuer der Firma Bredal („B2“) durchgeführt.

Dabei handelt es sich um einen 2-Scheiben „Center Line“ Zentrifugalstreuer, bei dem die geschwindigkeitsabhängige Mengenanpassung über den Antrieb der Laufbänder gesteuert wird. Die Sollmengenanpassung wird durch die Veränderung der Schieberöffnung vom Jobrechner (LH 5000) gesteuert, dem über eine serielle RS232-Schnittstelle (z.B. vom N-Sensor) die Applikationsmengen übermittelt werden.

Bei dem Center Line-Düngerstreuer drehen sich die Streuscheiben von außen zur Mitte hin und erreichen so eine fahrtwindunabhängige Überlappung zwischen den beiden Scheiben von 70-90% (Griepentrog et al., 2000). Der Düngerstreuer wurde vor jedem Applikationstermin auf eine ordnungsgemäße Einstellung überprüft (Abdrehen und Querverteilungsmessung). Ziel war es, zu den Applikationsterminen einen Variationskoeffizienten bei der Querverteilung von < 10 zu erreichen, da nur so Ertrags- und Proteineffekte auf die Düngung zurückzuführen sind.

Die Positionsbestimmung erfolgte mit einem GPS-Empfänger. Dieser Empfänger (CSI MBX-3 beacon receiver) ist mit einer differentiellen Korrektur (Küstenfunk) zur genauen Positionsbestimmung ausgestattet. Die Datenaufzeichnung (Düngemenge und Biomasse) erfolgt im Sekundentakt auf einer PCMCIA-Datenkarte im Sensorterminal.

3.2 Versuch Lentförden (WSG-Bad Bramstedt)

Die Versuchsanlage auf dem Standort Lentförden bei Bad Bramstedt wurde mit dem Wasserschutzberater, Dr. Götz Reimer, angelegt. Der Schlag wurde mehrfach in unterschiedlichen Varianten geteilt. Jede Variante war mind. zwei Fahrgassen breit und ca. 350 lang. Das Ziel war der Vergleich der teilflächenspezifischen angepassten Düngung durch den Yara N-Sensor mit dem Reflexionsmesssystem zur konstant betrieblichen Düngung. Daher wurde hier die betriebsübliche Menge von 50 kg zu N_2 als Kalibriermenge für den N-Sensor vorgesehen und die konstante Düngung neben der sensorgestützten Düngungsvariante angelegt, so dass ein direkter Vergleich möglich war. Diese Variante wurde noch jeweils einmal wiederholt. Zusätzlich wurde die Variante Konstant -30 % und Sensor -30 % angelegt, um das Potential der Produktionsfunktion auf diesem Standort zeigen zu können.

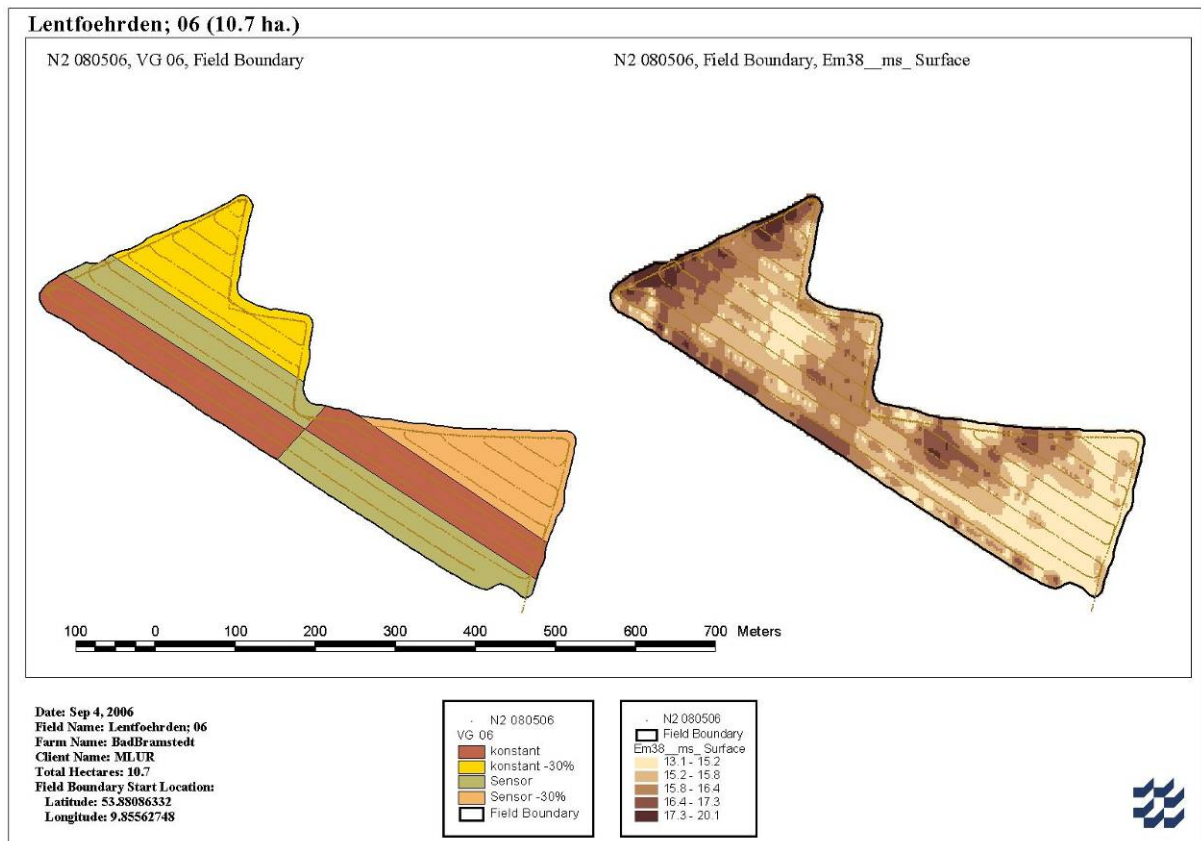


Abb. 3-4: Versuchsglieder Lentförerden und EM 38 Messwertkarte

Die zweite N-Gabe erfolgte am 8. Mai 2006, die dritte N-Gabe mit gleicher Variation in den gleichen Varianten am 2. Juni 2006. Ziel war es, den unterschiedlichen Pflanzenbedarf mit dem Sensor angepasst zu düngen und damit eine optimale N-Verwertung zu erzielen. Der Yara N-Sensor ist vom Funktionsprinzip so, dass er auf dem Schlepperdach montiert ist und auf jeder Seite zwei Optiken in den Bestand sehen, eine fünfte Optik sieht senkrecht nach oben und misst das täglich einfallende Licht und bildet damit die Differenz zwischen einfallendem und reflektiertem Licht und kann somit auf die Reflexion und die Abduktion des Bestandes schließen. Daraus wird dann die N-Düngung abgeleitet (REUSCH 1997, THIESSEN 2002, RECKLEBEN 2004).

Das Ergebnis war, dass unterschiedliche N-Verteilungen erreicht wurden. Die unterschiedlichen N-Verteilungen z.B. zu N₂ mit einer Spannweite von 0 kg N bis hin zu 60 kg N ausgeschöpft wurde und zu N₃ mit einer Spannweite ebenfalls von 0-60 kg N bei einer Kalibrierung um die 50. Das lässt darauf schließen, dass die Mineralisation auf der vorher ausgebrachten Gülle optimal verwertet und von der Witterung zugelassen wurde, so dass durch den Yara N-Einsatz eine N-Einsparung von mind. 40 %

im Vergleich zur konstanten N-Düngung erreicht wurde (eigene Messungen). Diese 40 % wurden nicht auf allen Teilflächen erreicht, sondern im Mittel aller Flächen. Es gab Teilflächen, wo auch eine höhere Düngung erforderlich war und Teilflächen, wo die N-Menge geringer ausgebracht wurde. Die größte Klassenhäufigkeit war bei 30-40 kg N. Der Sensor wurde auf 50 kg N kalibriert und hatte im Schnitt 10-20 kg weniger auf der meisten Flächenzahl ausgebracht. Das wiederum lässt darauf schließen, dass die organische Düngung sehr gut wirkte und damit die N-Effizienz deutlich gesteigert werden konnte. Abhängig sollte das im Ertrag untersucht werden. Hier ergab sich das Problem für die Ertragskartierung, dass der Mähdrescher der Universität zum Termin dort war, aber das Getreide noch zu grün war und der Roggen mit seinem sehr widerstandsfähigen Stroh zu Maschinenstörungen führte. Die Lager der hinteren Rotoren wurden beschädigt, weil das Stroh nicht durch die Maschine ging. Das wiederum bedeutete, dass der Versuch an diesem Tag nicht beerntet wurde und später vom Betrieb selber geerntet wurde, was dazu führte, dass keine Ertragsinformationen im Detail erzielt wurden, sondern nur das Vorgewende mit den Ertragserfassungsmähdrescher erfasst werden konnte. Daher sind hier keine Aussagen zum Ertrag möglich, außer zur Plus/Minus-Verteilung des Stickstoffs und zur Biomasseheterogenität. Die Abbildungen sind nachfolgend dargestellt. Man sieht deutlich, dass insgesamt ca. 55 % der Fläche einen niedrigeren N-Bedarf hatten als typischerweise kalibriert worden wäre, d.h. der Betrieb hätte alle Teilflächen zum Zeitpunkt der jeweiligen Termine überdüngt.

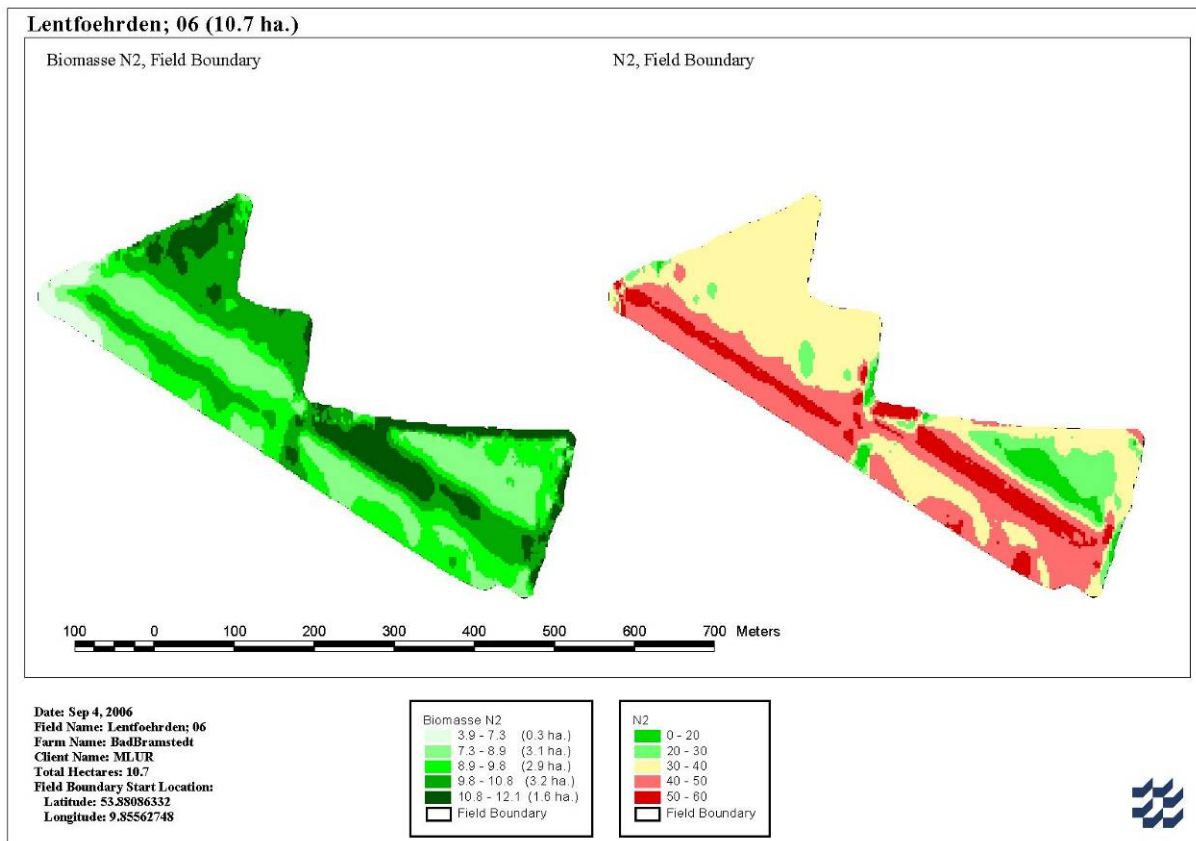


Abb. 3-5: WRo-Biomasse Status und N-Asapplied (ausgebrachte N-Menge) Karte zu N2 (EC32)

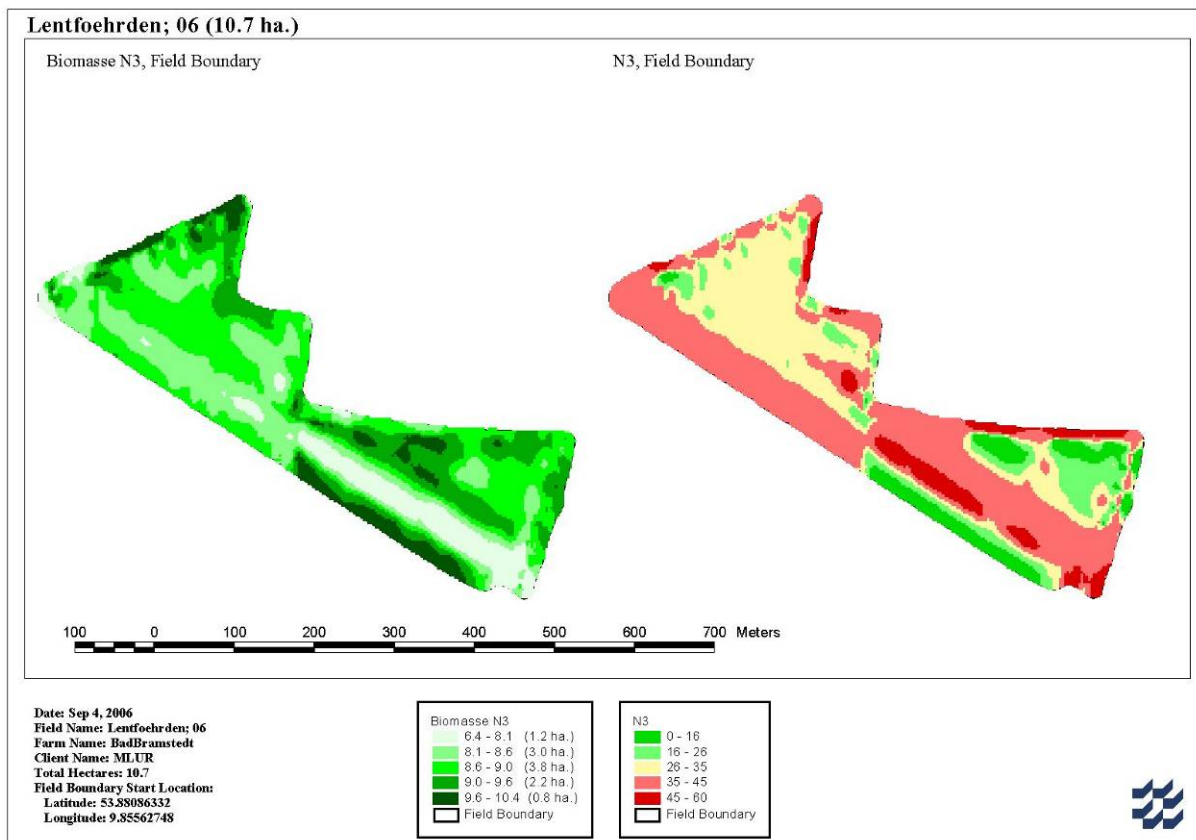


Abb. 3-6: WRo-Biomasse Status und N-Asapplied (ausgebrachte N-Menge) Karte zu N3 (EC49)

Am Standort wurden zusätzlich noch drei Maisschläge gescannt, die zwar teilflächenspezifisch nicht gedüngt wurden, aber das Biomassepotential sollte auch hier gezeigt werden. Diese Teilflächen wurden noch mit der Ertragserfassung in der Parzelle vom Unternehmen Geries beerntet. Diese Beerntung ist nachfolgend in der Tabelle als Ergebnis dargestellt.

Tab. 3-1: Ertrags- und Qualitätsparameter und BI vom 06.2006 der beprobten Maisernteparzellen

ID	Frischmasse dt/ha	TM %	TM dt/ha	XP	Stärke	ME	NEL	Biomasseindex
bra1_pfl_1	523	29,4	154	7,3	33,9	11,3	6,8	1,3
bra1_pfl_2	497	27,8	138	7,4	25,2	10,7	6,4	0,8
bra1_pfl_3	527	33,1	174	8,0	40,5	11,7	7,1	0,6
bra2_pfl_1	551	29,2	161	7,6	35,0	11,2	6,8	1,2
bra2_pfl_2	472	30,6	144	8,9	23,3	11,1	6,7	3,0
bra2_pfl_3	623	31	193	7,9	34,4	11,1	6,7	2,2
bra4_pfl_1	293	25,2	74	8,7	17,5	11,2	6,8	2,1
bra4_pfl_2	303	29,5	89	9,1	24,7	11,3	6,9	2,3
bra4_pfl_3	312	29,5	92	9,5	16,8	11,0	6,6	4,9
bra4_pfl_4	312	25,5	80	9,9	17,2	10,9	6,6	4,7
bra4_pfl_5	259	23,9	62	10,8	12,5	11,2	6,8	1,7

Die Ertragsergebnisse der Parzellenbeerntung auf den Maisflächen an den jeweiligen Bonitурpunkten, die GPS-technisch eingemessen wurden, sind in den nachfolgenden Abbildungen (vgl. Abb. 3-7) auf den Schlägen dargestellt und der ID, die sich in der Tabelle (Tab. 3-1 finden, versehen.

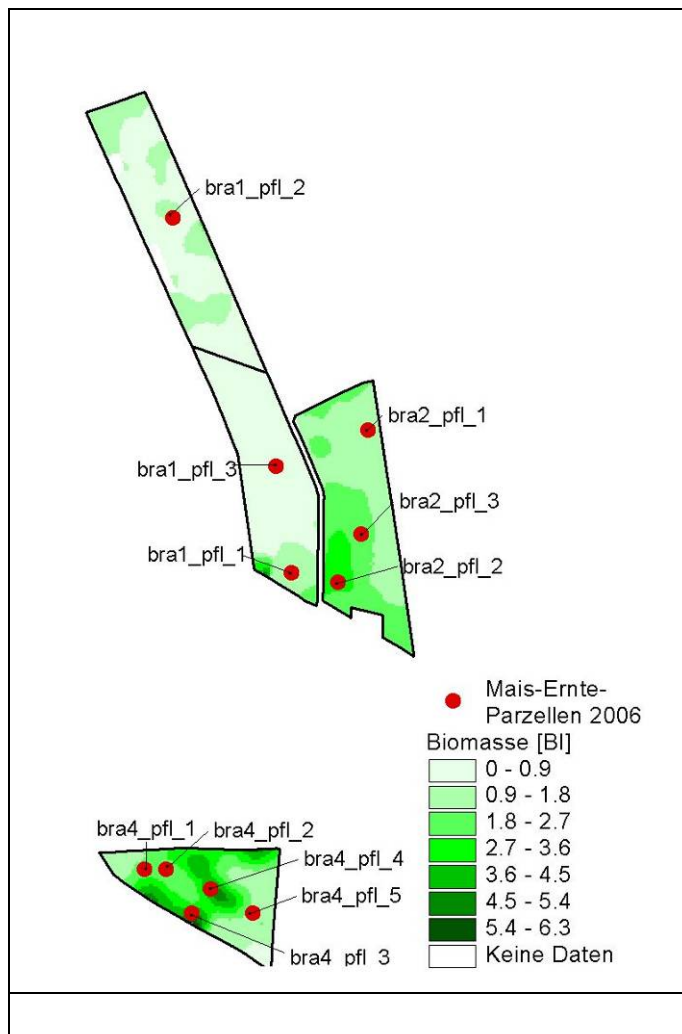


Abb. 3-7: Maiserntepunkte und Biomasse-Scan

Die Variabilitäten in der Biomasse zum Zeitpunkt der Sensorbefahrung wurden genutzt um die Ernteparzellen festzulegen. Die Ergebnisse zeigen allerdings bei den Schlägen bra 1 und 2, dass sich die Unterschiede im Verlauf der Vegetation zum Teil „verwachsen“ haben. Bei dem Schlag bra 4 ist in der Tendenz zwischen Frischmasseertrag und Biomasseindex erkennbar.

3.3 Versuch Schwesing (WSG-Husum)

Der Versuch auf einem Winterweizenschlag mit 16,8 ha am Standort Schwesing bei Husum wurde nur noch zur N₃ gedüngt und gescannt. Auch hier wurden unterschiedliche Varianten durch den Wasserschutzberater Dr. Müller-Thomsen Fa. IGLU angelegt, um den Yara-Sensor bzw. die sensorgestützte Düngung direkt mit der betriebsüblich konstanten Düngung zu vergleichen.

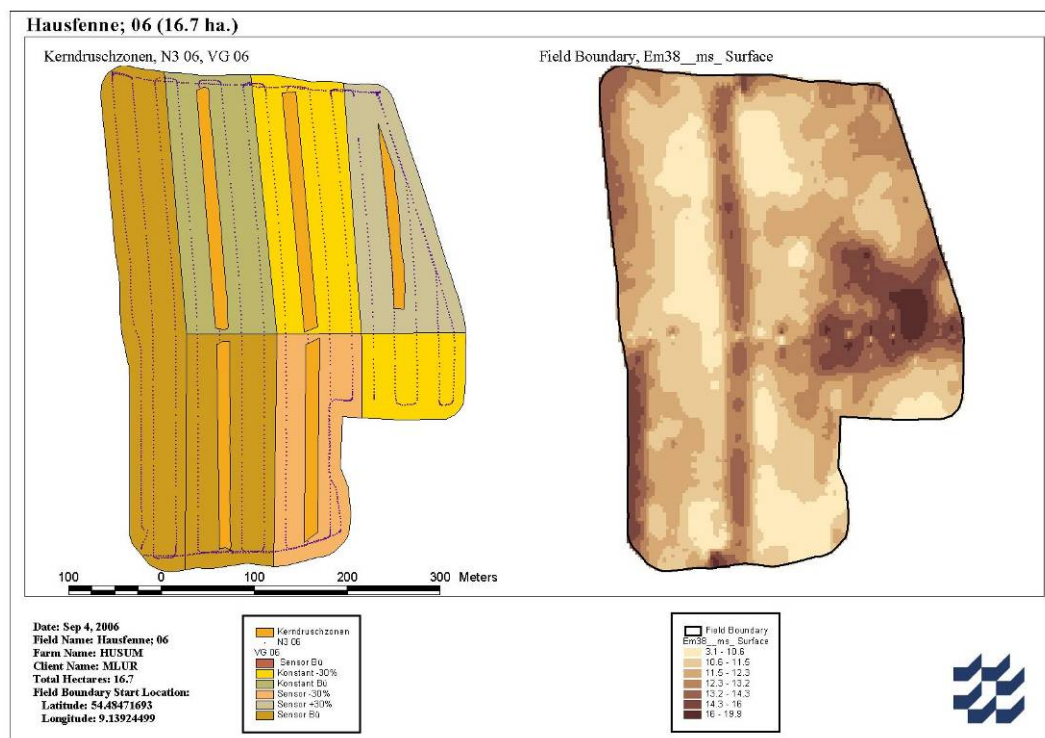


Abb. 3-8: Versuchsglieder Schwesing zu N3 und EM 38 Messwertkarte

Der Schlag erschien von der geoelektrischen Erstsondierung (Abb. 3-9, li) interessant, weil sich in der Mitte eine vertikal verlaufene Hochleistungszone befand, die sich in der Nachsondierung nicht bestätigte (vgl. Abb. 3-8 und 2-15),. Derartige lokale Fahrgassen-Fehlmessungen kommen zwar selten vor, zeigen aber die Dringlichkeit von Überprüfungen und Kalibrierungen durch Bohrsondierungen auf.

Der Schlag wurde wie folgt geteilt: Zunächst begann die Variante Sensor betriebsüblich, dann wurde der Schlag nochmals in der Mitte geteilt. Die Varianten waren dann mind. vier Fahrgassen breit und in der Länge mind. 300 m lang, so dass genügend Fläche zusammen kam. Begonnen wurde aus nördlicher Richtung auf dem Schlag mit konstantbetriebsüblicher Düngung. Darauf folgend auf dem südlichen Schlagteil sensorbetriebsüblich, dann wurde konstant -30 % und Sensor -30 % und noch mal Sensor +30 % und konstant -30 % gedüngt, so dass mindestens zwei Varianten Sensor betriebsüblich und zwei Varianten konstantbetriebsüblich existierten. Die Sensor betriebsübliche Variante war 3,4 ha groß, die konstant -30 % 2,6 ha, die Sensor -30 % 1,9 ha, die Sensor +30 % 2,1 ha, die konstant -30 1 ha, die Sensor betriebsüblich nochmals wiederholt mit 2,3 ha und konstant betriebsüblich 2,6 ha, so dass genügend Flächenanteile für eine weitere Auswertung vorhanden waren.

Ganz entscheidend war, dass in allen gedüngten Varianten Nmin-Proben gezogen wurden, die im Kapitel 1 (bodenkundlichen Betrachtung) dargestellt sind und als Ergebnis auf die Düngung zurückzuführen sind, denn der Ertrag wurde beeinflusst.

An diesem Standort gab es eine Ertragsmessung, die nicht GPS-gestützt erfolgt und somit nicht darstellbar war. Die Nachbarlohnunternehmen mit Ertragserfassung (GPS-gestützt) hätten zu diesem Zeitpunkt für diese kleine Fläche keine Umverlagerung ihrer Erntelogistik durchgeführt und daher wurde mit dem betriebseigenen Mäh-drescher geerntet. Die Beerntung erfolgte in Kerndruschzonen, die mit GPS eingemessen wurden, d.h. es waren zwei Fahrspuren, einmal volle Schneidwerksbreite oben und dann wieder zurück. Diese Fläche wurde eingemessen und der Ertrag wurde mit mobilen Fuhrwerkswaagen, die von der Landwirtschaftskammer und der Fachhochschule bereitgestellt wurden, getrennt am Hof gewogen. Das Ergebnis der Varianten des einzelnen Kerndrusches ist in der nachfolgenden Tabelle kodiert dargestellt und auch die Versuchsglieder dazu und auch die kalibrierte N-Menge für die dritte N-Gabe. Betriebsüblich wären zu diesem Zeitpunkt 50 kg gestreut worden.

Tab. 3-2: Weizen Ernteergebnisse Kerndrusch Schwesing 27.07.2006

Variante	VG	N-kal	Faktor [%]	applizierte N-Menge zu N3			Ertrag [dt/ha]
				AVG [kg/ha]	Min [kg/ha]	Max[kg/ha]	
1	BÜ Sensor	50 kg N	100	34	11	59	82.1
2	BÜ Sensor	35 kg N	-30	28	11	62	82.5
3	BÜ Konstant	50 kg N	100	50	50	50	67.9
4	BÜ Konstant	36 kg N	-30	35	35	35	65.1
5	BÜ Sensor	65 kg N	30	41	0	79	83.8

Es wurden ein Minusfaktor von 30 % und ein Plusfaktor von 30 % zusätzlich für einige Varianten eingefügt, so dass die Ertragsunterschiede dargestellt sind. Es zeigt sich ein deutlicher Ertragsvorteil durch die betriebsüblich sensorgestützte Düngung, da hier die Teilflächen mit dem höheren Ertragspotential das Stickstoffangebot besser nutzen konnten und somit mehr Ertrag gebildet haben. Die Frage, ob sich die Nmin-Proben hier wiederfinden, ist noch eine andere. Das ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Hier muss noch mal ganz gezielt geschaut werden.

Der zweite Schlag am Standort Husum, der konstant gestreut wurde, aber zum Zeitpunkt der N-Düngung mit dem Sensor gescannt wurde, ist in der nächsten Abbildung dargestellt. Die Messwerte zeigen einen sehr deutlichen Biomasseunterschied von 1,3 bis 12,4 im Messwert. Der Messwert von 1,3 ist deutlich zu wenig Pflanze/m²,

was auf dieser Teilfläche „fast gar keine Pflanze entwickelt“ bedeutet. Bei 12,4 ist der Bestand schon sehr massig. Man spricht in der Literatur von einem Reflektionsindex 3,0 von ungefähr 50 Pflanzen/m² beim Getreide. Beim Mais ist der Faktor etwa um Faktor 2 zu erhöhen. Bei 5,0 wäre hier ein durchschnittlich guter Bestand entwickelt, d.h. alle < 5 ist eindeutig zu schwach entwickelt, was in der nachfolgenden Abbildung mit Flächenanteilen versehen ist, so dass dort statistisch Aussagen getroffen werden können. Das liegt am diesjährigen Frühjahr, wo eine sehr lange Winterzeit und damit eine verspätete Aussaat und eine verspätete Pflanzenentwicklung stattgefunden haben.

3.4 N_{min} Beprobung der Düngeflächen

Die N_{min} Proben wurden als Mischproben in Schritten von 0-30cm, 30-60cm und 60-90 cm gezogen. Die Proben 0-30 und 30-60 wurden gemischt und anschließend aufsummiert und als 0-90 cm bezeichnet.

3.4.1 N_{min} Analysen Lentfördrden

Anhand der N_{min} -Proben wird auf dem Standort Bad Bramstedt als Beziehung zwischen N_{min} -Ertrag und Boden ganz klar deutlich, dass die beiden nordwestlichen Parzellen Sensor und Konstant eine sehr niedriges N_{min} -Potential bzw. NO_3 N in den Oberböden aufweisen, also leicht verlagerbaren Stickstoff, und nach Süden hin dieses Risiko eindeutig zunimmt, ein erhöhtes NO_3 -Potential vorherrscht. Es besteht auch hier ein Unterschied zwischen der konstant gedüngten Variante mit einem hohen verfügbaren NO_3 N-Potential und die Sensorvariante ein niedriges Potential mit sich bringt, wie in der Abbildung dargestellt. Die N_{min} -Werte der Varianten 1-4 liegen auf einem einheitlichen Niveau. Überlagert sind die Werte mit einer Güllegaben zum aktuellen ausgesäten Raps (Ernte 2007). Ein weiterer Punkt, der eine Interpretation der Ergebnisse erschwert ist der Einfluß des niederschlagreichen August. Die reduziert gedüngten Varianten 5 und 6 weisen höhere Werte auf, eventuell wirkte der eingesparte Stickstoff suboptimal, sodass das erzielte Ertragspotential der Varianten 1-4 nicht erreicht werden konnte und somit auch der mögliche Entzug nicht umgesetzt wurde.

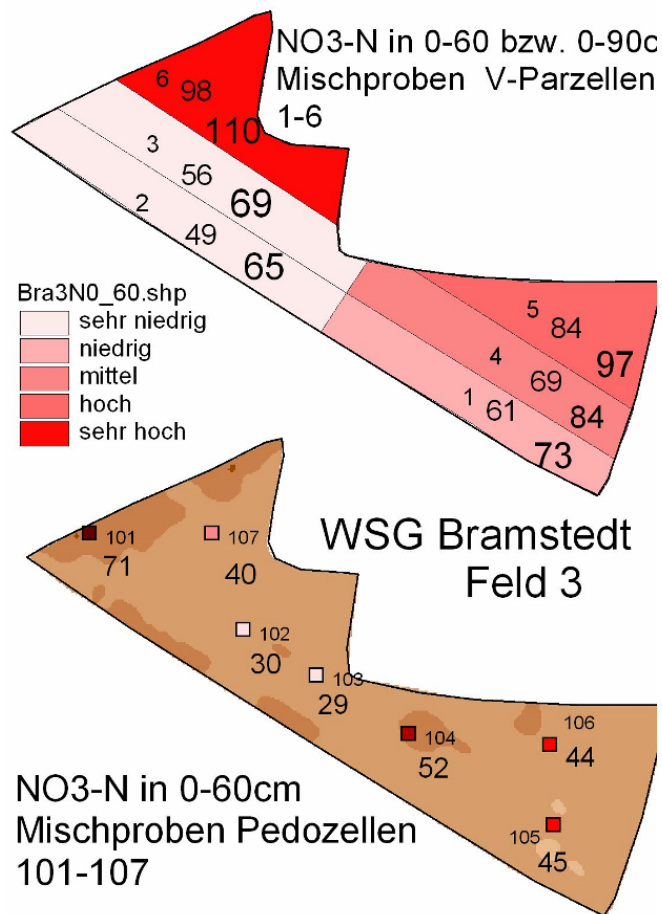


Abb. 3-9: Nmin Proben Lentfördrden (WSG Bad Bramstedt)

Die Ergebnisse der Pedozellenbeprobung (untere Teil der Abb.) zeigen insbesondere an den Punkten 101 (Waldschatten, Vorgewende) und 104 (Senke) potentielle Bereiche mit höheren Nmin-Werten auf.

3.4.2 N_{min} Analysen Schwesing

Das Gleiche wurde im Bezug der Nmin-Beprobung auch am Standort Husum durchgeführt. Man sieht deutlich den Düngevarianten, so dass das Nmin-Potential zwischen konstanter und Sensordüngung relativ ausgeglichen ist. Gerade da, wo die betriebsüblichen N-Mengen gefallen sind, ist eine viel bessere N-Ausnutzung vorhanden und somit ein geringeres Risiko für leicht verlagerbares NO₃ –N in den 0-60 oder 0-90 cm –Zellen existierten, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt.

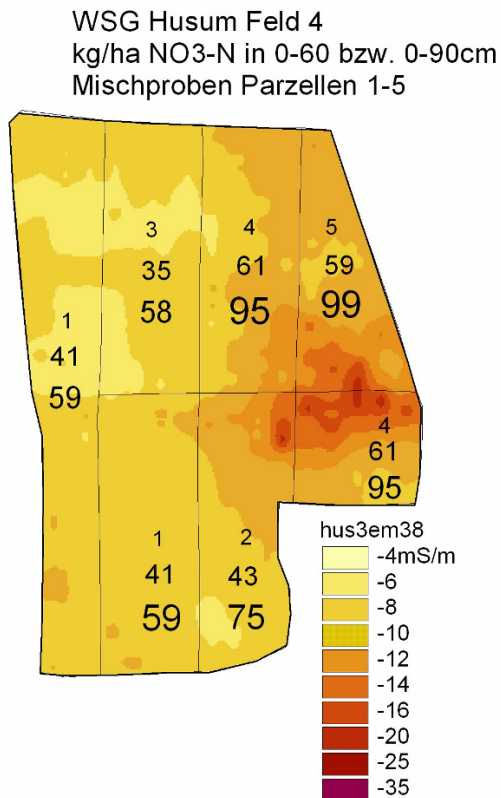


Abb. 3-10: Nmin Proben Schwesing (WSG Husum)

Diese Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit auf, Regelfunktionen zu entwickeln die genau diese Punkte; Standortpotential aus der EC Bodenkarte und teilflächenspezifische Düngung über eine Sensorsteuerung die sich am Pflanzenbaulichen Potential orientiert, zu entwickeln. Das hierin enthaltenen Potential sollte unbedingt aus Sicht des Grundwasserschutzes weiter bearbeitet werden.

3.5 Fazit der Düngeversuche

Der Oberboden 0-60 35, 61, 59 und 41, 43, 63 als Gehalt und kg/ha. Die zusätzliche tiefere Beprobung 0-90, also die Mischprobe mit 58, 95, 99 und 59, 75, 95 kg NO₃-/ha. Auch hier zeigt sich ganz klar, dass es nicht allein die Düngung ist, die den Nitratanteil im Boden beeinflusst, sondern vielmehr das Ertragspotential des Standortes. Je höher dieses Ertragspotential und je besser die Düngung an dieses Ertragspotential angepasst ist, desto höher ist auch die Ausnutzung und je geringer ist die Verlusterwartung. Auf den leichteren Teilflächen sind die besseren Nmin-Gehalte gemessen worden, weil das Ertragspotential viel höher war. Insgesamt zeigt sich, dass diese 15 dt Mehrertrag in den Sensorvarianten auch einen positiven Effekt auf

die tieferen NO₃--Proben (0-90 cm) gehabt hat. Es ist aus den Ergebnissen des ersten Jahres die Möglichkeit entstanden, durch Integration von Hofbodenkarten in die Düngeplanung einer Bilanzoptimierung näher zu kommen. Durch die einzusetzende Technik, EM 38 Kartierung und Sensorgesteuerte Düngung, können sowohl Bodenunterschiede als auch Bestandesvariabilität berücksichtigt werden. Dieses sollt ein einem zweiten Jahr ggf. an einem Standort konzentriert weiterverfolgt werden.

3.5.1 Fazit N_{min}

Der Oberboden 0-60 35, 61, 59 und 41, 43, 63 als Gehalt und kg/ha. Die zusätzliche tiefere Beprobung 0-90, also die Mischprobe mit 58, 95, 99 und 59, 75, 95 kg NO₃-/ha. Auch hier zeigt sich ganz klar, dass es nicht allein die Düngung ist, die den Nitratanteil im Boden beeinflusst, sondern vielmehr das Ertragspotential des Standortes. Je höher dieses Ertragspotential und je besser die Düngung an dieses Ertragspotential angepasst ist, desto höher ist auch die Ausnutzung und je geringer ist die Verlusterwartung. Auf den leichteren Teilflächen sind die besseren N_{min}-Gehalte gemessen worden, weil das Ertragspotential viel höher war. Insgesamt zeigt sich, dass diese 15 dt Mehrertrag in den Sensorvarianten auch einen positiven Effekt auf die tieferen NO₃- -Proben (0-90 cm) gehabt hat.

4. Eignung von *Ertragskarten* im Körnerdrusch für lokale N-Entzugskarten und praktische Erfahrungen im Futterbau

Der Erfolg der N-Gabe ist direkt im Ertrag messbar. Diese innovative, raumbezogene Erfassung ermöglicht nun zusätzlich Ansätze zur weiteren Optimierung. Neben der Verwendung der Biomasse für die direkte Applikationsplanung sind nun auch Prognosen bereits während der Bestandesentwicklung möglich, mit deren Hilfe die Potenziale einzelner Teilflächen abzuschätzen sind. Aus diesen Daten können dann produktionstechnische Entscheidungen abgeleitet werden, um den ökonomischen und ökologischen Höchstertag zu erzielen und dabei die Auswaschungsverluste zu reduzieren.

Im diesjährigen Versuch war es nur auf dem Standort Schwesing möglich den Versuch im Kerndrusch zu erfassen und Ertragsdaten für die Erfolgsbewertung im Versuch zu gewinnen. Die Bilanzierung der Düngung über das abgefahrene Erntegut ist in der nachfolgenden Tabelle (Tab. 4-1) vereinfacht dargestellt.

Tab. 4-1: Vereinfachte N-Bilanzen der Versuchsglieder 1 bis 5 des Versuchs Schwesing Bahnhof. Weizen Ernteergebnisse Kerndrusch gegen Gesamt N-Gabe vom 27.07.2006

		Schwesing Ernte 27.07.2006			
Nr.		Sollwert [kg N/ha]	Gesamt [kg N/ha]	Ertrag [dt/ha]	Bilanzsaldo [kg N/ha]
1	BÜ Sensor	50 kg N	159	82,1	-22,0
2	BÜ Sensor -30%	35 kg N	158	82,5	-24,5
3	BÜ Konstant	50 kg N	173	67,9	23,0
4	BÜ Konstant -30%	36 kg N	158	65,1	14,0
5	BÜ Sensor +30%	65 kg N	188	83,8	2,0

Die Tabelle (Tab. 4-1) stellt eine vereinfachte Bilanz der Teileflächen zusammen. Hier wird deutlich, dass lediglich die über den Sensor gedüngten Varianten negative Bilanzsalden aufweisen. Es zeigt sich, dass die Umverteilung des Stickstoffs nach dem Pflanzenbedarf – bei gleichem mittleren N-Aufwand (159 kg N/ha) in den Varianten Konstant (BÜ) und Sensor (BÜ) – zu einer Erhöhung (+ 49%) der Effizienz des eingesetzten Stickstoffs geführt hat. Beide Varianten sind zwar noch innerhalb der tolerierbaren Grenzen für das Bilanzsaldo von ± 50 kg N/ha, doch wurde einzig bei den N-Sensorvarianten mehr Stickstoff abgefahren und damit besser genutzt. Auch die Variante Sensor BÜ +30% zeigt im diesjährigen Versuch, dass der Bilanzsaldo mit 2 kg N/ha leicht im positiven Bereich liegt und sich die 30% mehr Stickstoff zur letzten N-Gabe (3. N-Gabe) nicht negativ auf das Auswaschungsrisiko gewirkt haben, sondern das Ertragsniveau um weitere 3% im Vergleich zu Sensor BÜ Variante gesteigert werden konnte und so den insgesamt höchsten Ertrag erbracht hat.

Diese Verbesserung der Bilanzsalden durch die Sensordüngung sind in den Herbst N_{\min} Gehalten so nicht wiederzufinden. Die Herbst N_{\min} Gehalte weisen vielmehr eine enge Verbindung zu den ermittelten EC-Wert der EM 38 Kartierung auf, und sind auf dem betrachteten Schlag als Parameter des Mineralisierungspotentials anzunehmen.

Diese Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit auf, Regelfunktionen zu entwickeln die genau diese Punkte; Standortpotential aus der EC Bodenkarte und teilflächenspezifische Düngung über eine Sensorsteuerung die sich am Pflanzenbaulichen Potential orientiert, zu entwickeln. Das hierin enthaltenen Potential sollte unbedingt aus sichtsicht des Grundwasserschutzes weiter bearbeitet werden.

5. Eignung und Akzeptanz der Techniken des Präzisen Landbaus in Wasserschutzgebieten (Kommentare und Zusammenfassung)

5.1 Der geoelektrischen Bodensensor und die effiziente Bodeninventur

Der Bodensensor EM38 erfasst mit hoher Flächenleistung (ca. 50-150 ha pro Tag) Bodeneigenschaften (Tongehalt, Feuchte), die eine wichtige Grundlage für das „präzise“ Boden- und Pflanzenbau-Management in Wasserschutzgebieten ist. In den beiden Schutzgebieten herrschen oft relativ kleine Flächen vor, die Gesamtleistung der Sondierungen (incl. Anfahrten etc.) in den unteren o.a. Bereich drücken. Der Hauptvorteil der EM38-Bodensondierung ist die flächengenaue Ausweisung, Bewertung und Umsetzung des

- **Nitratauswaschungsrisikos** ist. Das gilt insbesondere für gefährdete Wasserschutzgebiete in der Hohen Geest, in der die dort weitverbreiteten „Decksande“ (i.a.S.) über saalezeitlichen Geschiebelehmen und -tonen anstehen (Husumer, aber auch Hohenweststedter und Schleswiger Hohe Geest). Weniger geeignet ist die Technik zur Differenzierung von Sanderflächen der Niederen Geest, da diese insgesamt und besonders die extrem gefährdeten hochanstehenden Grobsande nur durch geringe Differenzen der elektrischen Bodenleitfähigkeiten unterschieden werden. Wegen ihrer Bedeutung sollte aber nachfolgend untersucht werden, wie dort die geoelektrische Sondierung durch mehrpolige Verfahren und sorgfältige Kalibrierung (in der Hand eines erfahrenen Bodenkartierers) verbessert werden kann, um auch geringe EC-Differenzen als flächenintensive Indikatoren zu nutzen. Eine Anregung seitens der Berater und Wissenschaftler ist auch mit Hilfe der geoelektrischen Techniken die Klassifizierung der Austauschhäufigkeiten nach DIN nicht nur regional/lokal zu verfeinern, sondern auch in den Klassen (sehr gering <70%; ge-

ring 70-100%; mittel 100-150%; hoch 150-250%; sehr hoch >250%) nach Bedarf zu verfeinern, z.B. extrem gering <40/50% für Grobsander).

- **Mineralisierungs- und Denitrifikationspotentiale** können mit den elektrischen Bodensensoren nur sehr eingeschränkt detektiert werden.
- **Kalibrierung durch Kernbohrungen und Grablochdaten.** Die Kalibrierung der EC-Werte ist aufgrund der Störgrößen und Messfehler der EM38-Sonde sowie der nur relativ reproduzierbaren EC-Karten essentiell, wenn daraus potentielle Sicker- bzw. Austauschraten kartiert werden sollen.
- **Akzeptanz.** Das zeigen auch Kommentare aus der landwirtschaftlichen Praxis, die einerseits die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der EM38-Karten bemängeln, andererseits aber die Objektivität eines unabhängigen Messverfahrens loben und von dessen Detailkenntnissen in ihren Feldern – die nur sie glaubten zu haben – oft überrascht sind. Kalibrierungen mit dem 1,5m Hydraulikbohrer werden von den Landwirten aus Sorge vor Beschädigungen von Drainrohren nur mit großer Zurückhaltung akzeptiert. Die Eignung von vorhandenen Grablochdaten, die demnächst flächendeckend und digital für Schleswig-Holstein vorliegen, muss abschließend noch sorgfältiger beurteilt werden. Familienbetriebe kennen ihre Fläche und deren Vorgeschichte (Grünlandumbruch etc.) oft sehr genau, so dass eine bessere Zusammenarbeit und gegenseitige Prüfung und Verbesserung der Kenntnisse Standortigenschaften und potentiale anzustreben ist. Von Landwirten wird auch häufig besorgt, dass eine verbesserte Datenlage zu höheren Auflagen führen kann. Hier gilt es das Vertrauen in eine allseits berechtigtes und anerkannte Regelungsverfahren zu stärken.

Die bodenkundlichen Kartierungen mit dem Messsystem EM38 haben gezeigt, dass hier die Detailschärfe für die Risiko Potentialabschätzung zunimmt und die Messwerte zur Ableitung anderer Fragestellungen (nFK) Karten genutzt werden können. Die Heterogenität des Bodens ist Ursache für die Heterogenität des Ertrages und damit des Nährstoffentzuges. Hier setzt die teilflächenspezifische N-Sensor Düngung an. Die Düngestrategie, den gut versorgten und entwickelten Beständen weniger und den schwach versorgten und entwickelten mehr Stickstoff zu geben und damit die Ertragswirkung zu fördern ist wirkungsvoll.

5.2 Eignung und Akzeptanz der N-Sensor und Ertragstechnik

Aufgrund der Heterogenität des Bodens wachsen die Pflanzen naturgemäß unterschiedlich. Diese Unterschiede kann die moderne Sensortechnik erfassen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde der auf Reflexion beruhende N-Sensor genutzt. Er quantifiziert anhand der Chlorophyllkonzentration den N-Versorgungszustand der Pflanze und fasst die Biomasse des Bestandes in Zahlen. Das tangiert zunächst die N-Düngung als wichtigste Maßnahme der Bestandesführung. Der klassische Weg besteht darin, schwache Bestände stärker zu düngen, und das in Echtzeit während der Überfahrt. Da der Sensor auch die Biomasse erfasst, wird sie in die Düngestrategie mit einbezogen.

Der wesentliche Produktionsfaktor ist die mineralische Düngung und hier besonders die Stickstoffdüngung. Mit der Entwicklung von indirekten Messmethoden zur Kartierung des N- Versorgungszustandes der Pflanzen und der Biomasseentwicklung ist es möglich, bereits während der Bestandesentwicklung Unterschiede zu erkennen und in Echtzeit darauf zu reagieren. Außerdem kann durch zusätzliche Messfahrten der Erfolg der Maßnahme über Biomasseindizes dokumentiert werden.

Das erste Versuchsjahr hat ganz klar gezeigt, dass die Methoden des Precision Farming zur Verbesserung des Dünge- und Mangementsystems in den gefährdeten Gebieten Schleswig-Holstein beiträgt. Abschließend wäre für ein weiteres Versuchsjahr die Kombination aus Bodeninformationen und Bestandesinformationen ein wichtiger Schritt, um die Effekte noch weiter zu steigern und das Potential des Bodens stärker zu nutzen, gerade im Bezug auf die Wasserversorgung. Die Versuche im Jahr 2006 haben hier ganz klar das Potential der Maßnahmen des Präzisen Landbaus gezeigt.

Die Ertragskartierung der Körnerdruschs konnte wegen der langen Zwischenfahrzeiten und des extremen Anspruchs in der Erntezeit nur begrenzt zum Einsatz kommen. Die Ertragskartierung im Futterbau ist z.Zt. noch nicht verlässlich und nachhaltig verfügbar. Wegen des hohen Grünland- bzw. Futterbauanteil bleibt dies ein kritischer und bevorzugt zu beachtender Faktor im Präzisen Landbau von Wasserschutzgebieten.

6. Literaturverzeichnis

- Durlessen, H. (1999): Bestimmung der Variation bodenphysikalischer Parameter in Raum und Zeit mit elektromagnetischen Induktionsverfahren. Dissertation, TUM Freising, Shaker Verlag
- Herbst, R. (2002): Bodenschätzung, geoelektrische Sondierung und pedostatistische Modellierung als Basis von digitalen Hof-Bodenkarten im Präzisen Landbau. Schriftenreihe Bd. 60, Inst. Pflanzenernähr. u. Bodenkunde, C.A.Universität, 24118 Kiel (10€, Email: smevlan@soils.uni-kiel.de)
- Griepentrog, H-W. und Persson K.:
Arbeitsqualität von Schleuderstreuern mit variabler Dosierung. Landtechnik 55, Heft 2, 2000
- Huete A.R. 1988, in: Thiessen E.:
Optische Sensortechnik für den teilflächenspezifischen Einsatz von Agrarchemikalien. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, 2002 (MEG 399)
- Lück, E., M. Eisenreich, H. Domsch (2002): Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft. In: O. Blumenstein, H. Schachtzabel (Hrsg.), Stoffdynamik in Geosystemen, Potsdam.
- Reimer, G. (2003): Spektrale Naherkundung und Ertragskartierung als Basis von digitalen Hof-Bodenkarten im Präzisen Landbau. Schriftenreihe Bd. 61, Inst. Pflanzenernähr. u. Bodenkunde, C.A.Universität, 24118 Kiel (10€, Email: smevlan@soils.uni-kiel.de)
- Reusch S.:
Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Diss., 1997 (MEG 303)
- Thiessen E.:
Optische Sensortechnik für den teilflächenspezifischen Einsatz von Agrarchemikalien. Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Diss., 2002 (MEG 399)
- Wollring H.J., Reusch S. und Karlsson C.:
Variable Nitrogen Application Based on Crop Sensing. The International Fertilizer Society, Proceedings No. 423, Cambridge, UK, 10th December, 1998