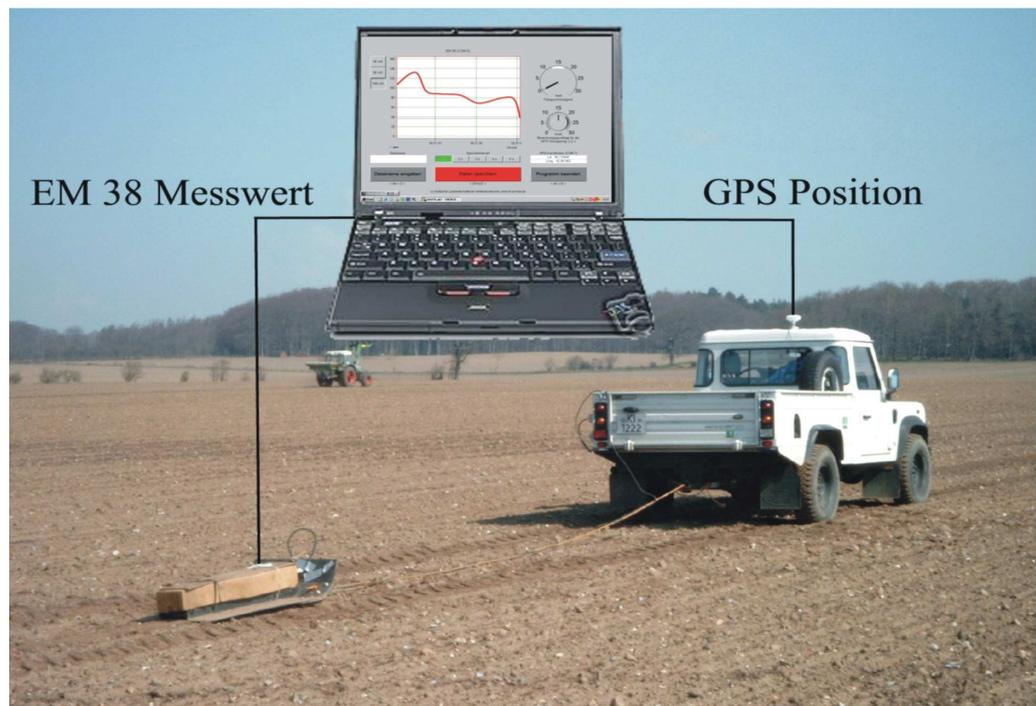




# Das EM 38 – System als Bodensensor für die Praxis



**Dr. Arwed Schwark**  
**Prof. Dr. Yves Reckleben**

## **Das EM 38 – System als Bodensensor für die Praxis**

Januar 2006

**Dr. Arwed Schwark<sup>1</sup> und  
Prof. Dr. Yves Reckleben<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel

<sup>2</sup> ist Professor für Landtechnik in der Außenwirtschaft am Fachbereich Landbau der Fachhochschule Kiel und designierter Leiter des RKL

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Leiter: Dr. Hardwin Traulsen

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: [www.rkl-info.de](http://www.rkl-info.de); E-mail: [mail@rkl-info.de](mailto:mail@rkl-info.de)

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.1.0

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiger Beratungsring mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

<b>Gliederung</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1227</b>
<b>2. Funktionsweise.....</b>	<b>1228</b>
<b>3. Kosten .....</b>	<b>1233</b>
<b>4. Nutzen für die Bewirtschaftung.....</b>	<b>1234</b>
4.1 Bodenbearbeitung.....	1234
4.2 Aussaat.....	1236
4.3 Pflanzenschutz.....	1237
4.4 Düngung .....	1238
4.4.1 Gezielte Nährstoffbeprobung.....	1239
4.4.2 Angepasste Grunddüngung.....	1240
4.4.3 Kalkung .....	1241
4.4.4 N-Düngung .....	1241
<b>5. Realisierung – praktische Umsetzung.....</b>	<b>1243</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>1245</b>
<b>7. RKL-Broschüren zum Thema GPS und Teilflächenbewirtschaftung .....</b>	<b>1245</b>

## **1. Einleitung**

Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung hat zum Ziel, der natürlichen Standortheterogenität durch angepassten Technikeinsatz gerecht zu werden - um so das ökonomische Optimum der Produktionsfunktion zu erreichen.

Mit der Kenntnis der Heterogenität des Standortes (Boden, Bestandesentwicklung, Ertragsfähigkeit) und geeigneter Produktionstechnik ist der Landwirt in der Lage, auf wechselnde Bedingungen durch eine Anpassung der Intensität zu reagieren. Gerade in den letzten Jahren sind durch die zivile Nutzung des GPS neue Möglichkeiten zur Kartierung und Dokumentation entstanden. Der Kartierung des Bodens, als naturgegebenen Heterogenitätsfaktor in der pflanzlichen Produktion, kommt seit jeher eine besondere Bedeutung zu – da sie bislang sehr zeit- und kostenintensiv durch manuelle Bohrstockansprachen erfolgt. Bisherige Beprobungen stellen daher einen Kompromiss aus Informationsgewinn und Kostendruck dar, da durch eine Verringerung des Probenumfangs die Kosten aber auch die Detailinformation (räumliche Schärfe) reduziert werden.

In der pflanzenbaulichen Praxis sind verschiedene Boden-Informationen von Bedeutung, die für die Bestandes- Entwicklung und Führung gleichermaßen wichtig sind:

- Korngröße (Textur)
- Lagerungsdichte
- Nährstoffaustauschkapazität
- Pflanzenverfügbare Wassergehalt
- Luftvolumen

Die Korngröße (Textur) beeinflusst die Lagerungsdichte und die Nährstoffaustauschkapazität – je kleiner die Korngröße, desto dichter die Lagerung und desto höher die Nährstoffaustauschkapazität. Das pflanzenverfügbare Wasser und die Menge an Luft (O<sub>2</sub>) sind weitere wichtige Kenngrößen für die Ertragsfähigkeit des Bodens. Beide werden über die Hohlräume (Poren) zwischen den festen Bodenteilchen beeinflusst.

Je dichter die Lagerung, desto geringer ist das Porenvolumen und damit das pflanzenverfügbare Wasser. Die besten Wachstumsbedingungen für Weizen herrschen nach Expertenmeinungen bei nutzbarer Feldkapazität und 15% Luftvolumen. Also kennzeichnet die Textur wesentliche Funktionen des Bodens.

## 2. Funktionsweise

Der Boden hat einen großen Einfluss auf die Bestandesentwicklung und den Ertrag. Eine konstante, schlageinheitliche Bewirtschaftung lässt an der Heterogenität von Ertrag und Proteingehalt die Unterschiede in der Ertragsfähigkeit des Bodens auf dem Schlag deutlich werden. Es gilt also, diese Unterschiede messtechnisch zu erfassen. Dazu nutzt man die unterschiedlichen, physikalischen Eigenschaften der Textur. Je nach Sand- oder Tonanteil ändert sich die Leitfähigkeit. Darauf beruht das Messsystem EM 38 (s. Abb. 1).

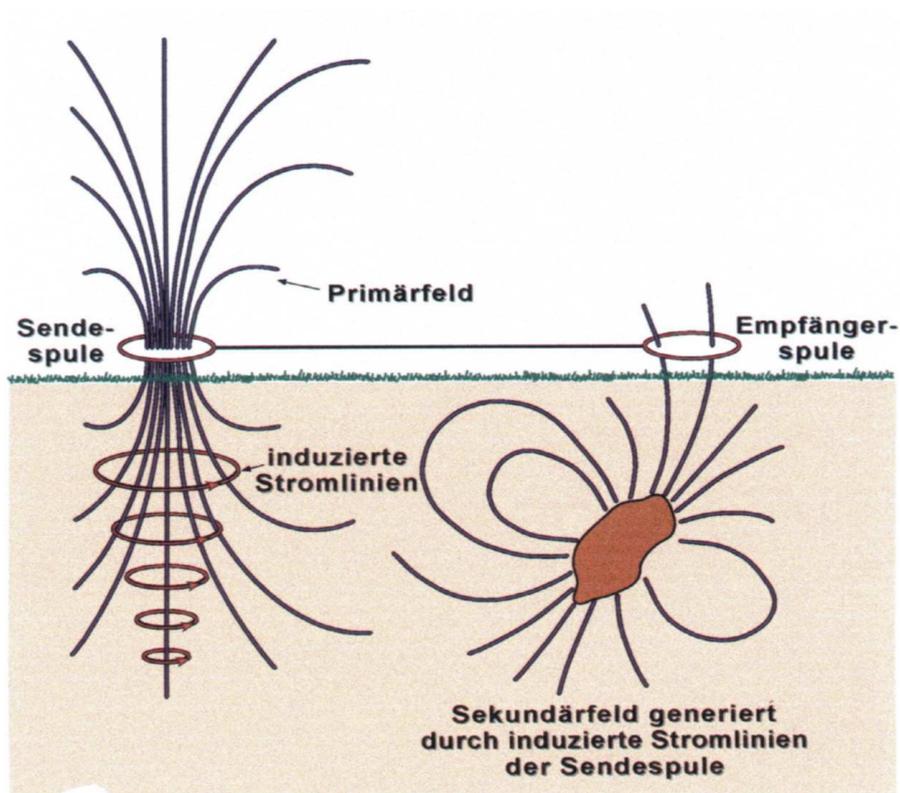


**Abb. 1:** EM 38 Messgerät der Firma Geonics in Kanada

Es hat sich in den letzten Jahren hat in der landwirtschaftlichen Praxis als Methode entwickelt, um schnell und genau die Feinerdeanteile (Ton und Schluff) bestimmen zu können – andere Systeme wie das Veris oder der Pluripol sind noch nicht so weit verbreitet oder noch in der wissenschaftlichen Erprobung (vgl. Bodeninformatik Kiel). Die schnelle Bestimmung des Feinerdeanteils im Boden erspart den Aufwand für die klassische Profilansprache und die Schlämmanalyse. Bei der Leitfähigkeitsmessung wird das Messgerät auf einem PVC-Schlitten (s. Abb. 2) in 6 bis 7 m Entfernung hinter dem Fahrzeug in den Fahrgassen gezogen, frei von magnetischen Einflüssen des Fahrzeuges. Eine Sendespule (s. Abb. 3) im Messgerät sendet dabei ein elektromagnetisches Wechselfeld (14.6 kHz) in den Boden. Dort werden sekundäre Felder hauptsächlich an Tonteilchen induziert, da hier die meisten Nährstoffe als Ionen gebunden sind. Eine Empfängerspule registriert die Stärke dieser sekundären Magnetfelder. Mit Hilfe dieser Messwerte ist nun eine relative Aussage über den Feinerdeanteil möglich: hohe elektrische Leitfähigkeit bedeutet einen hohen Feinerdeanteil. Andere Einflussgrößen wie der Wassergehalt des Bodens beeinträchtigen die Messung. Daher sollte die EM 38-Messung entweder im Frühjahr bei 100% Wassersättigung oder im Sommer nach der Ernte nahe dem Permanenten Welkepunktes (PWP) durchgeführt werden, um eine Beeinflussung durch unterschiedliche Wassergehalte auszuschließen. Eine Messung bei Wassersättigung im Frühjahr und eine nach der Ernte ermöglicht so Aussagen zum pflanzenverfügbaren Wassergehalt (nFK – nutzbare Feldkapazität).



**Abb. 2:** Messschlitten für das EM 38  
(Foto: Fa. AgriCon 2004)



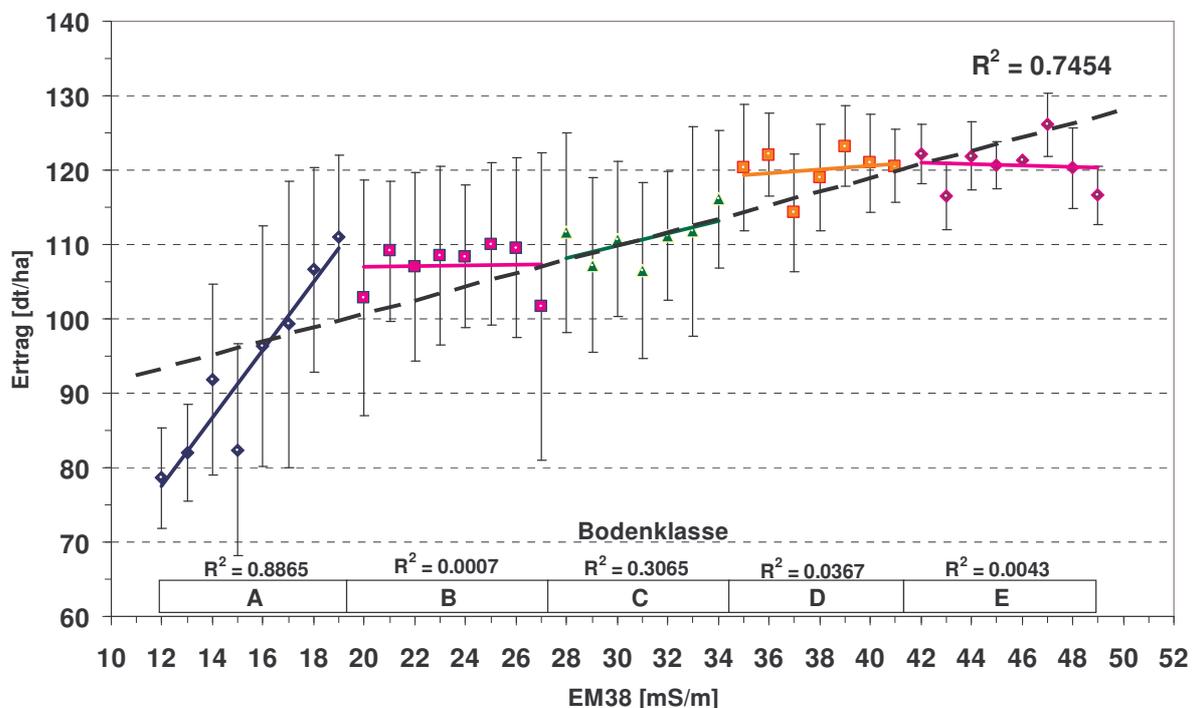
**Abb. 3:** Messprinzip des EM 38

Die Anwendung des Messgerätes ist recht einfach, da es der Schlepper oder Geländewagen schnell (10-15 km/h) über die Fläche zieht. Je nach Abstand, z.B. Fahrgasse, schafft man 100 bis 150 ha/Tag. Gleichzeitig wird mit dem GPS die Position auf-

genommen. Also erhält man in enger Folge Daten zum Boden – wesentlich effizienter als bei der Bodenschätzung. Damit sind Unterschiede im Boden, die nach 20 bis 100 m auftreten, sofort in Zahlen (Messwerten) zu fassen.

Der Wert der EM 38-Daten liegt darin, dass sie mit klassischen Kenndaten des Bodens und mit dem Ertrag korrelieren. Das veranschaulichen Ergebnisse aus eigenen Messungen, die vom Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik – gemeinsam mit der Bodeninformatik Kiel – in Schleswig-Holstein durchgeführt werden.

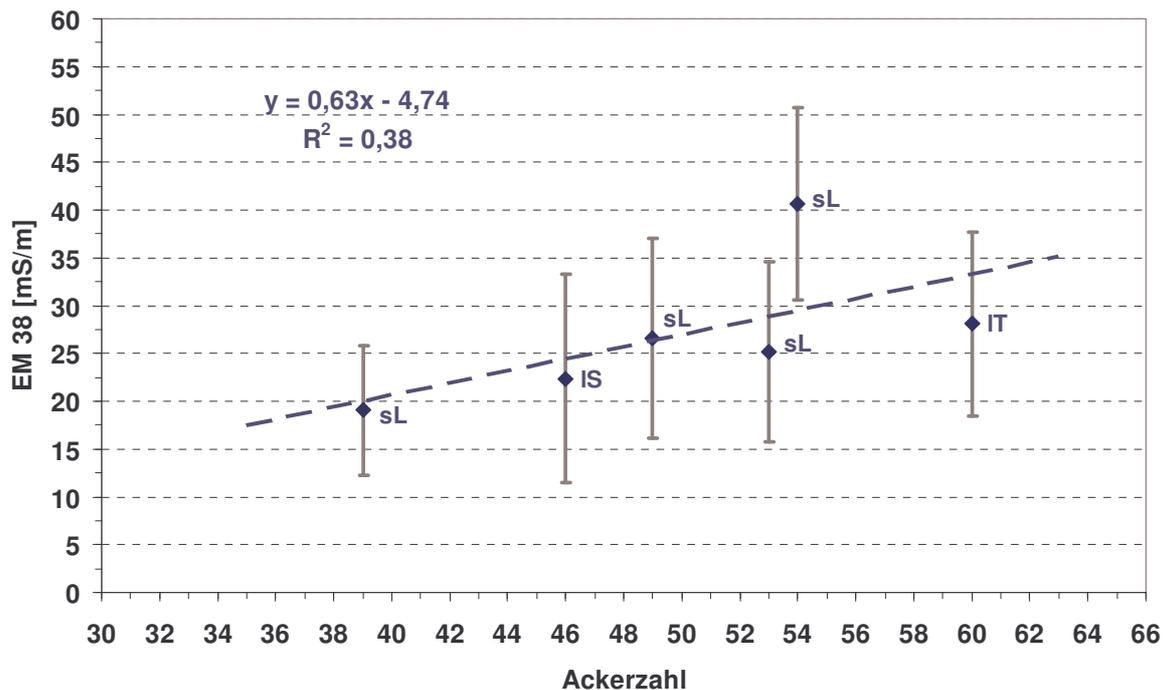
Zunächst soll der Messwert des EM 38 und seine Beziehung zum Ertrag betrachtet werden. Da das Niveau der Leitfähigkeitsmessungen von Schlag zu Schlag unterschiedlich ist – aufgrund der Variabilität der Textur – ist es aus Gründen der Vergleichbarkeit nötig, Zonen mit gleicher Leitfähigkeit zu Klassen („Bewirtschaftungseinheiten“) zusammenzufassen.



**Abb. 4:** Ertrag nach EM 38-Messwert und Bodenklasse, Winter Weizen, Sorte Skater, Ost-Holstein

Anhand der Daten in Abb. 4 wird deutlich, dass der Ertrag mit steigender elektrischer Leitfähigkeit, gemessen in mS/m, zunimmt. Die Streuung der Messwerte nimmt hingegen ab. Die Messwerte in den einzelnen Klassen (A bis E) zeigen bei der Regressionsanalyse sehr unterschiedliche Verläufe. Besonders in Klasse A mit den geringsten Leitfähigkeiten findet sich eine hohe Korrelation zwischen Ertrag und Leitfähigkeit. Der Ertrag steigt, bei einheitlicher Düngung um 32 dt/ha. In den weiteren Klassen ist der Effekt nicht so geprägt. Damit werden die Teilflächen mit geringem und hohem Ertragspotenzial gekennzeichnet.

Im nächsten Beispiel sollen klassische Bodeninformationen der Reichsbodenschätzung und hier speziell die Ackerzahl mit dem neuen EM 38-Messwert in Beziehung gesetzt werden. Die Ackerzahl als Summenparameter aus Textur, Hangneigung und Witterung zur Kennzeichnung des Ertragspotenzials wurde bewusst gewählt, da auch der EM 38-Messwert ein Mischsignal aus Textur, Wasser- und Nährstoffversorgung ist, die ebenfalls direkt den Ertrag beeinflussen.



**Abb. 5:** EM 38-Messwert in Abhängigkeit von der Ackerzahl und Textur der Reichsbodenschätzung (RBS)

In Abb. 5 zeigt sich, dass gleiche Texturen eines Schlates unterschiedliche Ackerzahlen aufweisen und die Beziehung zwischen Leitfähigkeitswert in mS/m und Ackerzahl, ausgedrückt durch das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), gering ist.

Gerade hierdurch zeigt sich der enorme Nutzen einer sensorbasierten Erfassung, die frei von subjektiven Einflüssen und aufgrund der hohen Zahl von Messergebnissen sehr genau ist.

Aus langjährigen Erfahrungen der Bodeninformatik der Universität Kiel ist bekannt, dass Leitfähigkeiten von  $< 15$  mS/m als Sande, 10 bis 30 mS/m als lehmige Sande bis sandige Lehme und  $> 35$  mS/m als Tone bezeichnet werden können.

### 3. Kosten

Die Kosten für den Einsatz des EM 38 kalkulieren sich wie folgt (vgl. Tab. 1):

**Tab. 1:** Kosten EM 38

<b>Gerätekosten [€]</b>	<b>ca. 15.000</b>	
(D)GPS-Empfänger [€]	ca. 4.000 (sofern nicht vorhanden)	
Dokumentationssoftware [€]	ca. 1.500	
Messschlitten [€]	ca. 3.000	
Datenmanagement	20 bis 60 Minuten/Feld	
<b>Dienstleister</b>		
	<i>(Quelle: Firma AgriCon 2004/2005)</i>	
Betriebsgröße [ha]	300	1000
<b>Listenpreis [€/ha]</b>	<b>6,00</b>	<b>5,80</b>

Ob sich eine Anschaffung des Systems für den eigenen Betrieb lohnt, kann anhand der in Tabelle 1 aufgeführten Kosten überprüft werden. Wenn man im schlechtesten Fall von einer kompletten Neuanschaffung ausgeht, dann müssen für die genannten Investitionen (bei 5 Jahren Abschreibungszeit, einem Zinsanspruch von 6 % und jährlichen Reparaturkosten von 5 %) 7285,- EURO/Jahr an Kosten kalkuliert werden. Hinzu kommen noch die Arbeitserledigungskosten für die Messung (Tagesleistung ca. 150 ha) und das Datenmanagement im Büro – hier werden 15,- EURO/h angenommen. Das heißt in Summe müsste jährlich eine Fläche von mehr als 1300 ha mit dem EM 38 kartiert werden, damit sich eine Anschaffung für den Betrieb lohnt. Im Vergleich dazu sind die Kosten von Dienstleistern (AgriCon, Maschinenring oder Lohnunternehmen) je Hektar gering, gelten die Messwerte doch für Jahre.

Das Preis/Leistungsverhältnis ist gemessen am Nutzen der Information des EM 38 sehr gut, da man schnell und genau die kleinräumige Heterogenität des Bodens erfassen kann und eine Reproduzierbarkeit der Daten gewährleistet ist. Das EM 38 ist ein Messsystem, das frei von subjektiven Einflüssen genaue Informationen liefert. Es korreliert sehr gut mit der Zielgröße Ertrag und lässt so die Möglichkeit zur teilflächenspezifischen Anpassung von produktionstechnischen Maßnahmen.

## 4. Nutzen für die Bewirtschaftung

EM 38 Karten bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Sie sind geeignet für die Beurteilung von Flächen bei Kauf und Pacht als Ergänzung zu den Karten der Reichsbodenschätzung. Vor allem sie im Precision Farming werden sie genutzt.

Sie können als Grundlage für eine ortspezifische Anpassung der Intensität bei:

- Bodenbearbeitung,
- Aussaat,
- Düngung,
- Kalkung und
- Pflanzenschutz dienen.

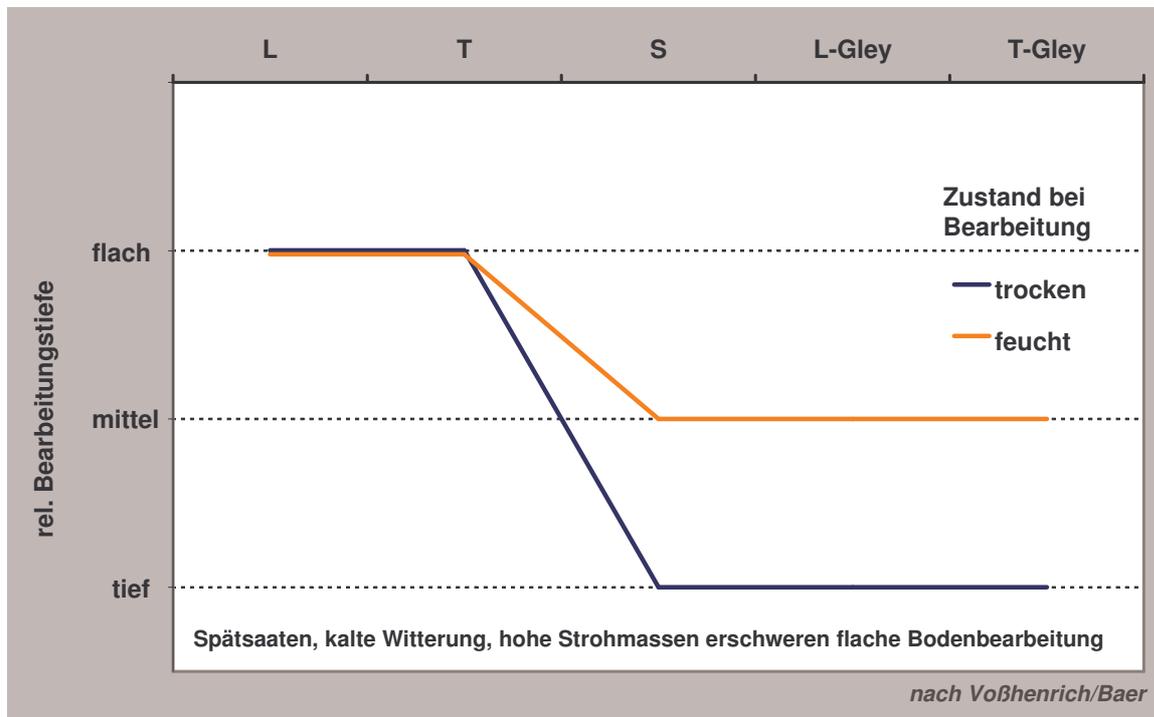
Die Anpassung der Bearbeitung erfordert die Definition von Teilflächen eines Schläges, die mit gleicher Intensität bewirtschaftet werden sollen. Hierfür wird anhand von Messwerten des EM 38 eine Klassifikation vorgenommen. Die Klassifikation sollte nach mathematischen Ansätzen mindestens 3 Klassen enthalten. Je kleiner das Intervall einer Messwertklasse ist, desto größer ist die Variabilität zwischen den Klassen. Für diese Arbeit wurde eine 5-fach-Klassifikation verwendet, mit gleicher Intervallgröße über die Messwerte. Dabei ist Klasse A immer die geringste und der Klasse E immer die höchste Leitfähigkeit zugeteilt worden, so dass die leichteren Bodenarten immer in A und die schwereren immer in E zu finden sind. Diese Relativbetrachtung führt zu einer Vergleichbarkeit in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht und hat für den Ansatz einer teilflächenspezifischen Betrachtung eine Bedeutung.

Die Teilflächen müssen nun, je nach Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsziel (Ertragssteigerung, Betriebsmitteleinsparung usw.) im Geografischen-Informationssystem (GIS) zu einer Applikationskarte verrechnet werden. Hierfür benötigt man eine Regelfunktion, die für jede Bewirtschaftungseinheit eine Applikationsmenge definiert.

### 4.1. Bodenbearbeitung

Der Gedanke bei teilflächenspezifischer Bodenbearbeitung ist es, die Bearbeitungstiefe an den Boden anzupassen und dadurch Kraftstoff zu sparen und die Flächenleistung zu erhöhen. Der Algorithmus für die Bearbeitungstiefe richtet sich nach den Parametern Textur, Humusgehalt, Hydromorphie und Relief (Vosshenrich FAL). Eine tiefe Lockerung von 20 bis 25 cm ist auf sandigen Flächen mit unter 12 % Tongehalt, in vernässten Bereichen oder bei sehr niedrigem Humusgehalt z.B. auf erodierten

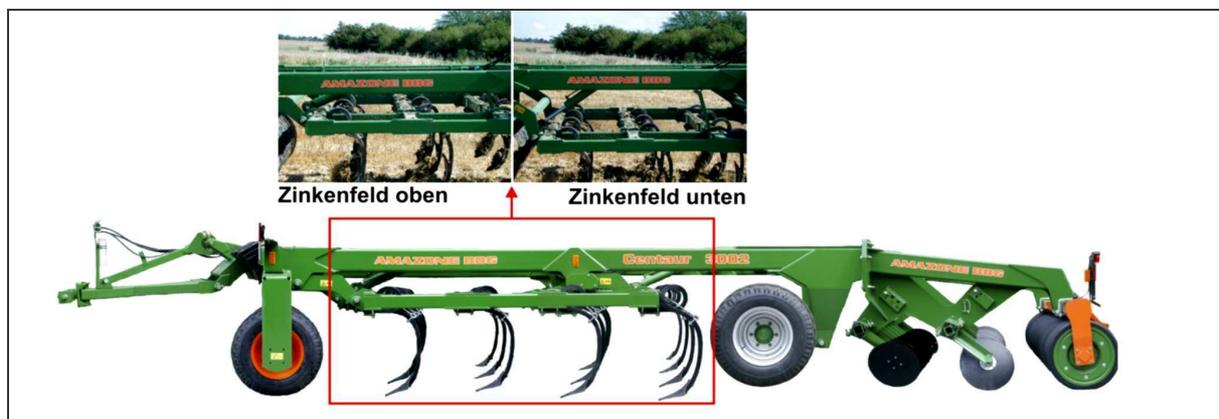
Kuppen sinnvoll. Auf den anderen Flächen ist eine Arbeitstiefe von 8-10 cm ausreichend – wie nachfolgende Abbildung zeigt:



**Abb. 6:** Angepasste Bearbeitungstiefe bei unterschiedlichen Texturklassen

Das EM 38 liefert somit für die Erstellung von Applikationskarten zur Bodenbearbeitung eine gute Datengrundlage, da die Leitfähigkeit hauptsächlich von der Textur und der Bodenfeuchtigkeit beeinflusst wird.

Die Grubberkombination der Firma Amazone wurde 2005 vom Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel eingesetzt. Bei dem Gerät handelt es sich um eine 3 Meter breite Grubber-Scheibeneggenkombination „Centaur“, bei der das Zinkenfeld hydraulisch angehoben und abgesenkt werden kann (Abb. 7).



**Abb. 7:** „Centaur“ mit hydraulisch verstellbarem Zinkenfeld

Ein Winkelsensor am Rahmen erfasst die Arbeitstiefe. In einem ersten Praxisversuch auf einem ostholsteinischen sandig-lehmigen Standort wurde die Hälfte des Schlages 18-20 cm tief gelockert und die andere Hälfte 8-10 cm. Als Zugschlepper kam ein Case CVX 1190 mit stufenlosem Getriebe zum Einsatz, bei dem Zugkraft, Kraftstoffverbrauch und Flächenleistung teilflächenspezifisch dokumentiert werden können. In den Ergebnissen zeigte sich, dass bei einer Reduzierung der Arbeitstiefe die Flächenleistung von 1,8 auf 2,5 ha/h anstieg. Gleichzeitig sank der Kraftstoffverbrauch von 20 auf 11 l/ha. Zu den Effekten auf Feldaufgang und Ertrag liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Ergebnisse vor. Langjährige Vergleiche zwischen flacher und tiefer Bearbeitung brachten auf gleichen Teilflächen (S, L oder T) bisher keine signifikanten Unterschiede – einzig die fördernde Wirkung einer tiefen Bearbeitung auf Sand und sandigen Teilflächen hat sich über die Jahre gezeigt.

## **4.2. Aussaat**

Seit langem ist es üblich, die Aussaatmenge an die Bodenart anzupassen, was bislang aber nur schlagspezifisch geschieht. Die Folge sind überzogene Pflanzendichten auf sandigen Stellen und schlechte Feldaufgänge auf Lehmkuppen. Die ungleichmäßigen Bestände führen somit zu suboptimalen Ergebnissen, da das Erreichen eines bestimmten Ertragszieles maßgeblich von einer bestimmten Pflanzen- und Ährenzahl je Quadratmeter abhängig ist. Die teilflächenspezifische Aussaat bietet also Vorteile. Mit EM 38 Karten ist es möglich, die Saatmenge an die jeweilige Bodenart anzupassen.

Zusätzlich können Karten der Reichsbodenschätzung und Luftbilder als Entscheidungshilfe dienen. Hierzu sind vom Landtechnikzentrum Rendsburg (DEULA GmbH) mehrjährige Versuche in Schleswig Holstein angelegt. Hermann Thomsen von der DEULA berichtet, dass durch eine geringfügige Variation ( $\pm 10\%$ ) der Aussaatmenge beim Weizen erhebliche Unterschiede in der Bestandesentwicklung erzielt werden konnten – wie die nachfolgende Tabelle zeigt:

## Aussaatstärke, Körner je Ähren und TKG



	Körner je Ähre	Ähren je m <sup>2</sup>	TKG	MD-Ertrag
Körner/m <sup>2</sup>	[n]	Anzahl	[g]	[dt/ha]
180	54,1	480	52,0	103
200	52,4	570	53,1	105
220	53,3	670	49,3	110

Hermann Thomsen

**Abb. 8:** Variation der Aussaatstärke, WW, Tommi, 03/04, Ost-Holstein (nach Thomsen, geändert)

Eine Variation der Saatmenge führt zu unterschiedlichen Platzverhältnissen innerhalb der Ähre und zwischen den Ähren – was sich in der unterschiedlichen Anzahl von Körnern je Ähre und dem Tausendkorngewicht (TKG) darstellt.

Die Variation der Saatmenge wurde aufgrund unterschiedlicher Bodenverhältnisse vorgenommen – die mittels EM 38 erfasst sind. Der leichte, sandige Standort wurde mit 180 Körnern je m<sup>2</sup> und die schweren, tonreichen Teilflächen mit 220 Körnern/m<sup>2</sup> gedreht, da hier eine ausreichende Wasserversorgung bis zur Ernte erwartet werden konnte. Alle anderen Maßnahmen der Bestandesführung wurden an die Bestandesdichte angepasst.

### 4.3. Pflanzenschutz

Im Pflanzenschutz wird angestrebt, die Menge an Wachstumsreglern und Herbiziden an die Bestandesdichte anzupassen. Hier geht man davon aus, dass sie vom Boden abhängt.

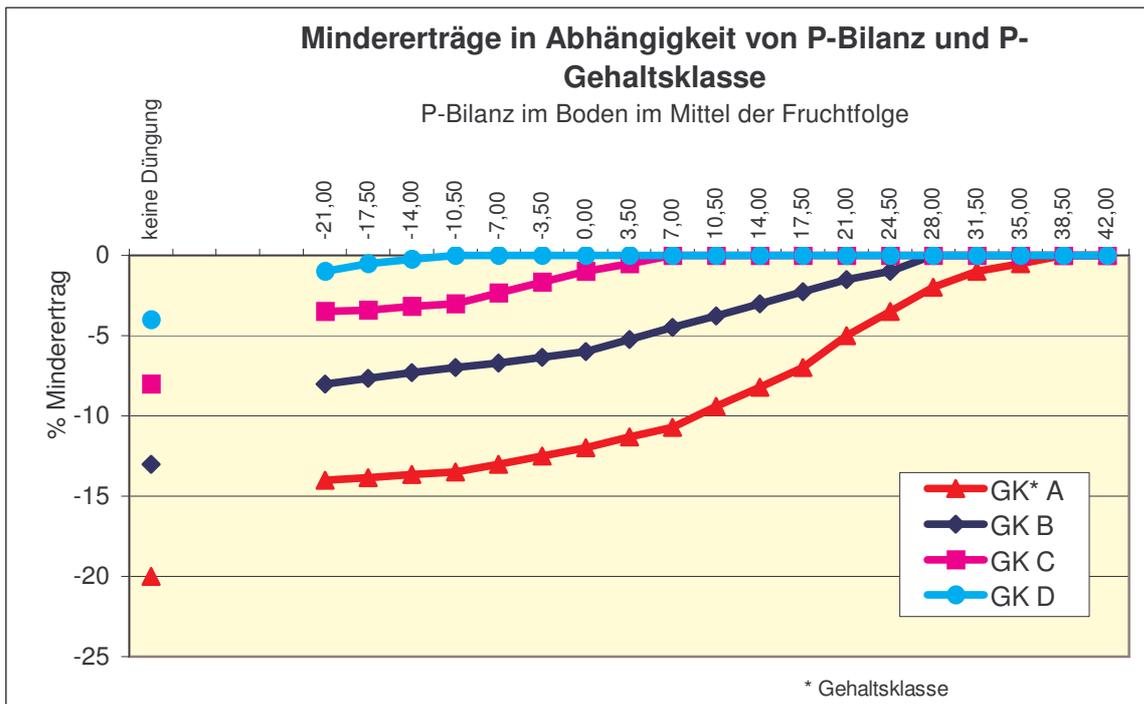
In Getreidebeständen müssen wüchsige Teilflächen stärker eingekürzt werden als dünne Bestände mit geringer Lagergefahr. Bei einer frühen Anwendung von CCC in EC 21-25 steht weniger die Einkürzung der Pflanzen im Vordergrund, sondern die Förderung der Bestockung. Später zu Beginn der Schossphase führt der Wachstumsreglereinsatz zu einer Einkürzung der Internodien. In der Praxis hat es sich bewährt, gute Bestände mit einer hohen Ertragserwartung zwei Mal im Splittingverfahren einzukürzen. Auf den schlechteren Teilflächen kann aber ein zu hoher Wachstumsreglereinsatz zu Stress und Wassermangel führen, da das Wurzelwerk ebenfalls eingekürzt wird. Für den teilflächenspezifischen Wachstumsreglereinsatz lassen sich die Applikationskarten gut auf der Basis von EM 38 Daten erstellen, da die Leitfähigkeit eng mit Bodenart und Wassergehalt korreliert. Der Vorteil liegt auch hier weniger in der Kosteneinsparung bei CCC, sondern in einer optimierten Bestandesführung, die zu Mehrertrag führen kann.

Bodenkarten sind ebenfalls für die Ausbringung von Herbiziden, insbesondere Bodenherbiziden geeignet. Bei der Ausbringung gilt zu beachten, dass die Aufwandmenge u.a. von der Bodenart abhängig ist. Ton- und humushaltige Böden haben ein höheres Sorptionsvermögen als sandige Böden und können die Wirkung des Mittels herabsetzen. Auf sandigen Flächen kann eine zu hohe Aufwandmenge hingegen zu Pflanzenschäden führen.

Prinzipiell ist auch der teilflächenspezifische Einsatz von Fungiziden möglich. In Zonen mit hoher Ertragserwartung kann die Aufwandmenge höher gewählt werden als auf Teilflächen mit niedriger Ertragserwartung. Der Effekt würde vor allem in der Kosteneinsparung bei teuren Fungiziden bestehen. Allerdings wird dieses Vorgehen von phytopathologischer Seite als kritisch angesehen, da die Resistenzproblematik bei einer weiteren Absenkung der Aufwandmenge noch verschärft würde.

#### **4.4. Düngung**

Für eine Anpassung der Düngermenge zur Erhaltung des Ertragspotentials ist es notwendig, den Gehalt an Nährstoffen im Boden genau zu kennen. Typischer Weise wird die Versorgungsstufe C angestrebt – bei der die mit der Ernte entzogene Nährstoffmenge zugeführt werden muss. Die Klassen A und B müssen neben dem Entzug noch einen Zuschlag (einfacher bzw. doppelter Entzug) bekommen, um die Versorgungsstufe C zu erreichen und Mindererträge im Folgejahr zu vermeiden. Die Klassen D und E werden nicht gedüngt.

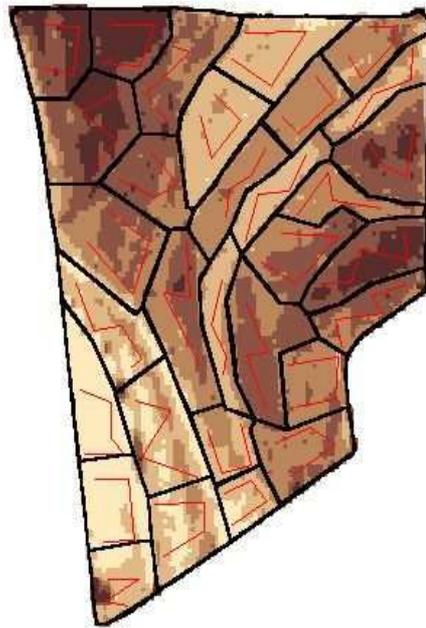


**Abb. 9:** Fakten der Grunddüngung am Beispiel des Phosphor (nach Kerschberger)

Die Kenntnis der Nährstoffversorgung ist also wichtig, hierfür werden in der Praxis je nach Bundesland alle 3 bis 5 Jahre Bodenproben gezogen und im Labor auf die Hauptnährstoffe und den pH-Wert untersucht. Bislang erfolgt diese Beprobung als Mischprobe aus mehr als 15 Einstichen in einem starren Raster (1 ha, 3 ha oder 5 ha). Je enger das Raster, desto genauer ist die Information – doch desto höher die Kosten.

#### 4.4.1. Gezielte Nährstoffbeprobung

Mit dem EM 38 ist es nun möglich, Zonen gleicher Leitfähigkeit mit Bohrstockproben zu bonitieren und so eine an den Boden angepasste Beprobung durchzuführen. Mit dieser gezielten Beprobung ist so eine Reduktion des Probenumfangs bei hoher Informationsdichte für den Pflanzenbau möglich.



**Abb. 10:** gezielte Nährstoffbeprobung anhand von EM 38 Messungen

Anhand der dann im Labor auf den Nährstoffgehalt untersuchten Proben ist nun eine teilflächenspezifische Düngeplanung möglich.

#### 4.4.2. Angepasste Grunddüngung

Die durch die Nährstoffbeprobung ermittelten Nährstoffgehalte im Boden können mit verschiedenen anderen Informationen zu einer Applikationskarte (Düngekarte) verrechnet werden, um so eine für jede Teilfläche angepasste Düngung durchführen zu können. Dabei errechnet sich die zu düngende Menge nach folgender Düngeformel [G1] (Kerschberger, TLL):

$$\text{Düngermenge [kg/ha]} = E \times NG \pm KFNS \pm KFBA \pm KFF - OD \quad [G1]$$

- E: Ertrag [dt/ha]
- NG: Nährstoffgehalt [kg/dt]
- KFNS: Korrektur Nährstoffgehalt Boden [kg/ha]
- KFBA: Korrektur Bodenart [kg/ha]
- KFF: Korrektur Fruchtart [kg/ha]
- OD: Nährstoffzufuhr organische Düngung [kg/ha]

Mit Gleichung 1 wird deutlich, dass neben dem Entzug auch der Boden eine wichtige Rolle spielt. Denn je nach Textur und Austauschkapazität müssen verschiedene Korrekturfaktoren für den Nährstoffgehalt und die Bodenart zu oder abgezogen werden. Aus produktionstechnischer Sicht bedeutet das, dass in der allgemeinen Düngeformel [G1] mittels EM 38 die Textur messbar ist.

#### **4.4.3. Kalkung**

Bei einer konstanten Düngung gibt es immer Teilflächen, die zu hoch versorgt sind und solche, die unterversorgt sind. Das betrifft auch die Kalkung. Auf sandigen Teilflächen führt eine zu starke Kalkung zu einem überhöhten pH-Wert, der sich im Extremfall als Manganmangel in der Wintergerste zeigt. Auf lehmigen Stellen hat eine schlechte Kalkversorgung Strukturprobleme zur Folge. Das EM 38 hilft, Probenahmebereiche für eine gezielte pH-Wert Analyse zu finden und eine angepasste Kalkung durchzuführen.

#### **4.4.4. N-Düngung**

Die Stickstoffdüngung wird in der Praxis meist am Bedarf der Pflanzen ausgerichtet – außer die 1. N-Gabe, die auf der Grundlage der Nährstoffbeprobung ( $N_{\min}$ , oder des Bilanz Ansatzes) erfolgt. Um den Pflanzenbedarf während der Bestandesentwicklung zu erfassen, nutzt man Sensoren, oder fertigt Luftbilder an, die während der Überfahrt die Unterschiede im Bestand erfassen. Da jedoch zum Zeitpunkt der N-Düngung die zukünftige Witterung nur schwer kalkuliert werden kann, besteht auf den leichteren Teilflächen die Gefahr – dass bei Vorsommertrockenheit der etablierte Bestand nicht bis zur Ernte das volle Nährstoffpotential ausschöpfen kann und so Nährstoffe ungenutzt bleiben.

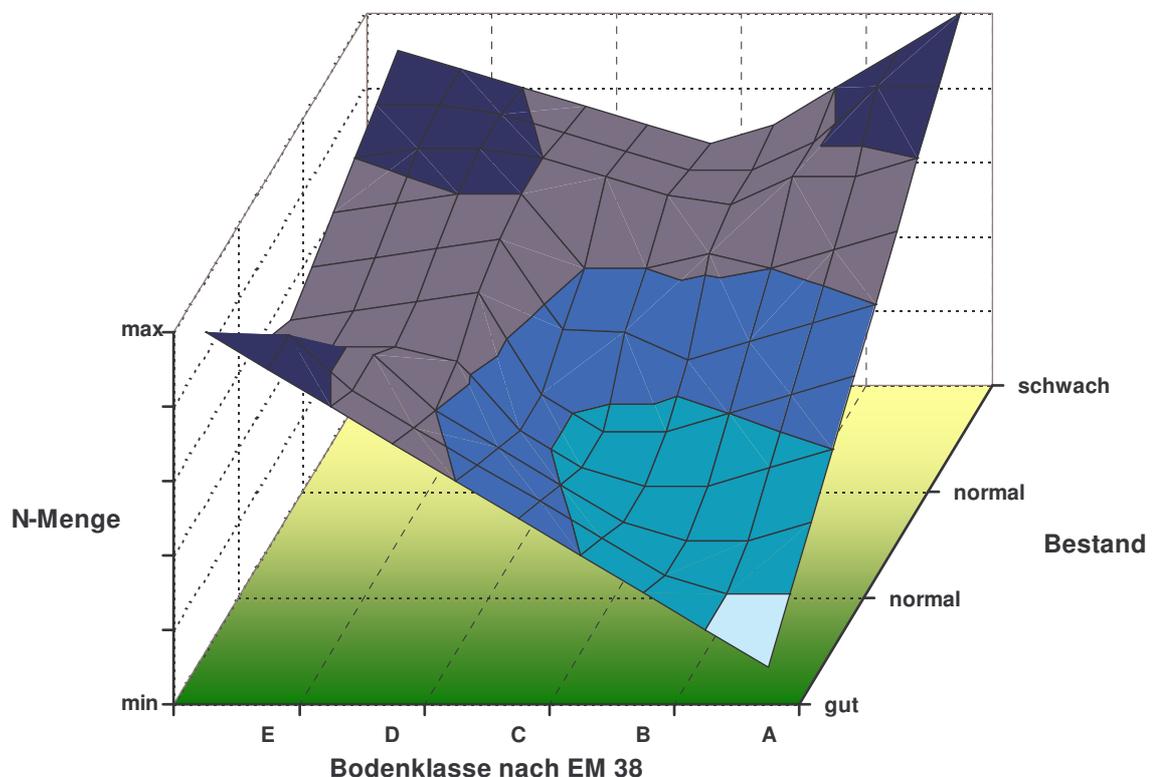
Eine Möglichkeit zur Optimierung liegt darin, das Sensor-Signal um einen charakteristischen Parameter für den Boden zu ergänzen. Das bietet der N-Sensor mit der Möglichkeit des „map-overlay“. Hierbei kann das Sensorsignal und die damit verbundene Düngeempfehlung durch hinterlegte Faktorkarten übersteuert (+ oder -) werden. Dieser Ansatz kann speziell bei extremer Witterung (Frühsommertrockenheit) an auswaschungsgefährdeten Teilflächen interessant sein, um so Fehlreaktionen durch überhöhte Düngergaben zu vermeiden. Faktorkarten können aus verschiedenen Daten (Boden, Relief, Biomasse und Ertrag) und deren Kombination erstellt werden.

Die EM 38 Daten stehen als Basis für den Faktorkarten-Ansatz zur Verfügung. Das EM 38 Signal fasst bis zu einer Tiefe von ca. 2 m den Effekt von Ton- und Wasser-

gehalt zusammen. Wird die Messung nach der Ernte für das „map overlay“ zugrunde gelegt, enthält sie auch die unterschiedliche Wasserversorgung der einzelnen Teilflächen.

Die zurückliegende, sowie die erwartete Witterung – in Form von Niederschlägen – bildet die Entscheidungsgrundlage, inwieweit bei der Düngung die Sensorempfehlung durch den Boden überlagert wird. Gerade während der Hauptwachstumsphase (Schossen) bis hin zum Ährenschieben ist eine erhebliche Ertragsbeeinflussung zu erwarten, da hier der N-Bedarf in den Pflanzen am größten ist. Tritt zu diesem Zeitpunkt Wassermangel auf, so werden die N-Versorgung und die Ertragsbildung beeinträchtigt. Also kann je nach Trockenperiode und Witterungsprognose die Stickstoff-Dosierung mit dem Nachlieferungsvermögen des Bodens für Wasser verknüpft werden.

An einem Beispiel wird erläutert, wie die Steuerung der Düngung durch den N-Sensor erweitert wird, um den Faktor des Bodens bzw. der Wasserverfügbarkeit. In Abb. 11 ist zum einen die N-Gabe abhängig vom Bestand dargestellt und zum anderen abhängig von den EM 38 Werten. In der Bodenklasse E mit den höchsten Leitfähigkeitsmesswerten, erhält der gut versorgte Bestand weniger Dünger als der schwache. Auf den sandigen Teilflächen wird die N-Menge aufgrund der Faktor Karte reduziert.



**Abb. 11:** Faktorkarten-Ansatz nach Bodenleitfähigkeit für den N-Sensor, zum Applikationstermin (N2 oder N3) wird die Sensordüngung nach Bestand bei trockener Witterung durch die Faktorkarte Boden überlagert

Die Übersteuerung des Signals vom Sensor verläuft nach der Faktorkarte wie folgt: Je trockener die Witterung zum Applikationstermin, desto stärker reagieren die Pflanzen und daher verändert sich der Reflexionswert des Bestandes. Der N-Sensor kann über die Reflexion bereits einige Tage im Voraus den Wasserstress messtechnisch erfassen, selbst wenn das typische Einrollen der Blätter und die spätere deutliche Verfärbung des Getreide-Bestandes (Graufärbung) noch nicht sichtbar sind.

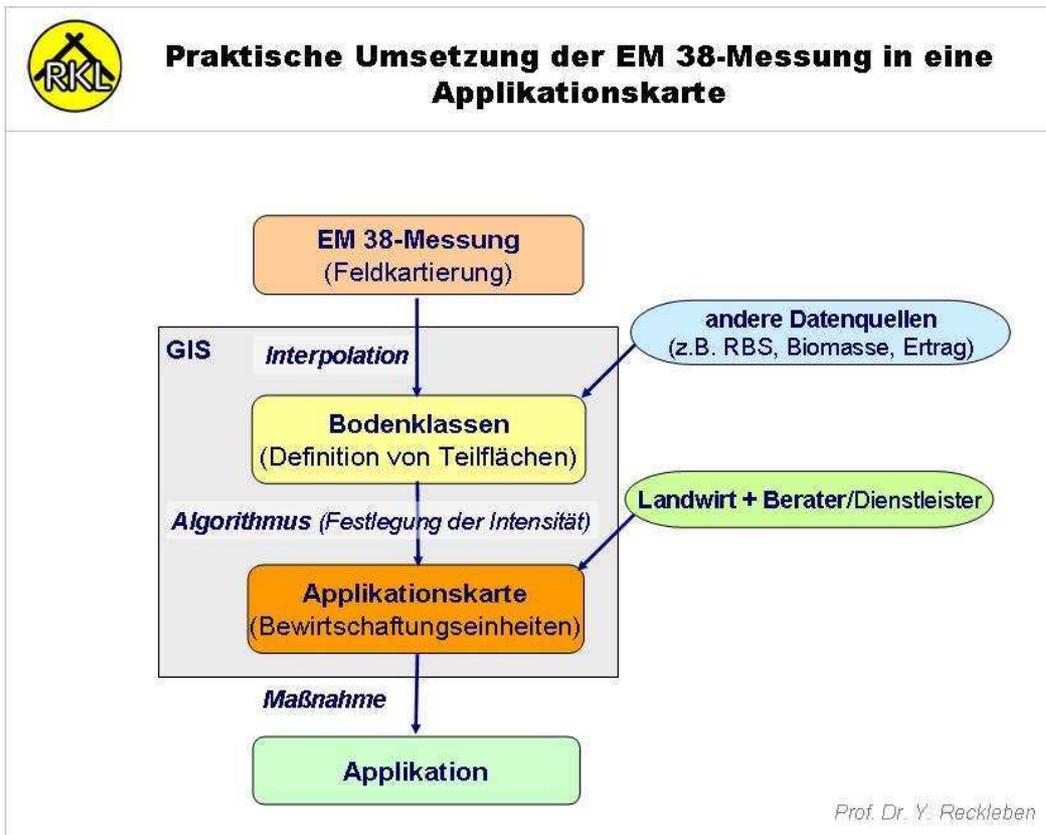
Trotzdem würde mit der klassischen Regelfunktion, die zu diesem Entwicklungsstadium typischerweise verwendet wird, durch eine erhöhte N-Menge darauf reagiert. Dank der EM 38-Messwerte kann der schwächer reflektierende Bestand auf den leichten Teilflächen reduziert gedüngt werden, im Gegensatz dazu der Bestand mit zunehmender Bodenklasse stärker. Die Steigung der Regelfunktion wird durch die Leitfähigkeit als Faktorkarte bestimmt.

Die Definition, wann und wie hoch die Beeinflussung des Sensorsignals durch eine Faktorkarte erfolgen muss, ist von Standort zu Standort oder gar von Feld zu Feld unterschiedlich – wie Versuche des Kieler Institutes für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik und der Bodeninformatik gezeigt haben. Die Verknüpfung von Informationen aus wissenschaftlichen Erkenntnissen und praktischen Erfahrungen ist dabei gefragt. Die Wissenschaft muss Daten und Beziehungen liefern, die von der Praxis umgesetzt werden können. Speziell die Intensität der Umsetzung obliegt der Fähigkeit des Landwirtes, der unter Berücksichtigung sämtlicher zur Verfügung stehenden Informationen und seiner langjährigen Erfahrungen zum Zeitpunkt der Applikation über die Kalibrierung, die Definition von maximaler und minimaler Ausbringungsmenge und die Regelfunktion entscheidet. Hier sind weitere Versuche notwendig.

Während also die sensorgesteuerte N-Düngung zum Stand der Technik gehört, fehlt es noch am Angebot für den Algorithmus oder an Kalibrierungen für die Applikationskarten. Das betrifft auch den Pflanzenschutz.

## **5. Realisierung – praktische Umsetzung**

Das EM 38 als Bodensensor für die Praxis ist bereits durch verschiedene Dienstleister (Maschinenringe, Lohnunternehmen) in die Praxis eingeführt und bietet vielfältige Möglichkeiten, wie bereits vorab gezeigt wurde. Grundsätzlich ist egal für welche Anwendung man die Bodenleitfähigkeit nutzen will, die Verfahrensweise ist immer ähnlich und soll daher noch einmal beschrieben werden.



**Abb. 12:** Erstellung von Applikationskarten am Beispiel der EM 38-Messung

Zunächst ist die Kartierung der Bodenleitfähigkeit auf den Flächen notwendig – was durch eigene Messungen oder einen Dienstleister erfolgen kann.

Danach sind die gemessenen EM-Werte in einem geografischen Informationssystem (GIS) innerhalb der Schlaggrenzen darzustellen und aus den Messpunkten Flächeninformationen zu erstellen – was durch Geostatistische Methoden (Interpolation) erreicht wird. Im Anschluss erfolgt die Klassifikation der Messwerte – gleiche Werte werden zu Teilflächen zusammengefasst und können zusätzlich mit anderen Informationsquellen verschnitten werden.

Die eigentliche Erstellung der Applikationskarte (Rasterkarte) – die Festlegung der Bewirtschaftungsintensität auf jeder Teilfläche – erfolgt zusammen mit dem Berater oder dem Dienstleister. Hierbei ist der Landwirt mit der Flächenkenntnis ein wichtiger Entscheidungsträger. Die so für jede Anwendung (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz) erstellten Applikationskarten können nun mit der geeigneten Produktionstechnik zum Anwendungstermin ausgebracht werden.

## 6. Zusammenfassung

Die EM 38 Messung ist ein leistungsfähiges und kostengünstiges Verfahren zur Bodenerkennung. In Verbindung mit GPS lassen sich aus den Daten innerhalb kurzer Zeit digitale Bodenkarten erstellen, die als Grundlage für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung dienen können. Nach dem „Offline“ System werden die EM 38 Daten für die Erstellung von Applikationskarten bei ortsspezifischer Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Kalkung und Bodenbearbeitung genutzt. Neben der Einsparung von Betriebsmitteln bestehen die positiven Effekte von Precision Farming vor allem in homogeneren Beständen mit höheren Erträgen. Die Effekte sind umso größer, je heterogener der Standort ist.

Der Nutzen für die teilflächenspezifische Anwendung ist hoch, da die Daten in hoher räumlicher Auflösung aufgenommen werden. Eine teilflächenspezifische Betrachtung und Verwendung der Daten für die Bodenbearbeitung, die Aussaat oder eine gezielte Düngung (Haupt- und Spurennährstoffe, Faktorkarten) ist gegeben. Besonders die Nährstoffbeprobung, die meist im starren Raster erfolgt, kann mit den Leitfähigkeitswerten des Bodens weiter optimiert werden und zu einer intelligenteren Beprobung führen. Das Messsystem hat sich in den letzten Jahren in der Wissenschaft und Praxis durchgesetzt (vgl. TU-München, ATB-Potsdam, preagro, Uni Kiel, AgriCon und RKL).

Das RKL unterstützt sie gern bei der Anlage von Versuchen auf ihrem Betrieb und ist an ihren Erfahrungen mit der EM 38 – Messtechnik und an den damit gewonnenen Daten interessiert.

## 7. RKL-Broschüren zum Thema GPS und Teilflächenbewirtschaftung

E. Isensee „GPS – Möglichkeiten und Grenzen“	4.1.0
M. Kerschberger „Bodenuntersuchung und Grunddüngung“	4.1.1.2.2
G. Becke „Datenerfassung und -auswertung im landwirtschaftlichen Großbetrieb“	4.0
K. Trunk „Erfahrungen mit GPS in einem Grossbetrieb“	4.1.0
H. Lisso „GPS-gestützte Teilflächenbewirtschaftung“	4.1.0
H. Drangmeister „Einsatz mobiler Palm-Computer in der Landwirtschaft“	4.0
Y. Reckleben „Sensorsysteme zur Bestandesführung“	4.1.0