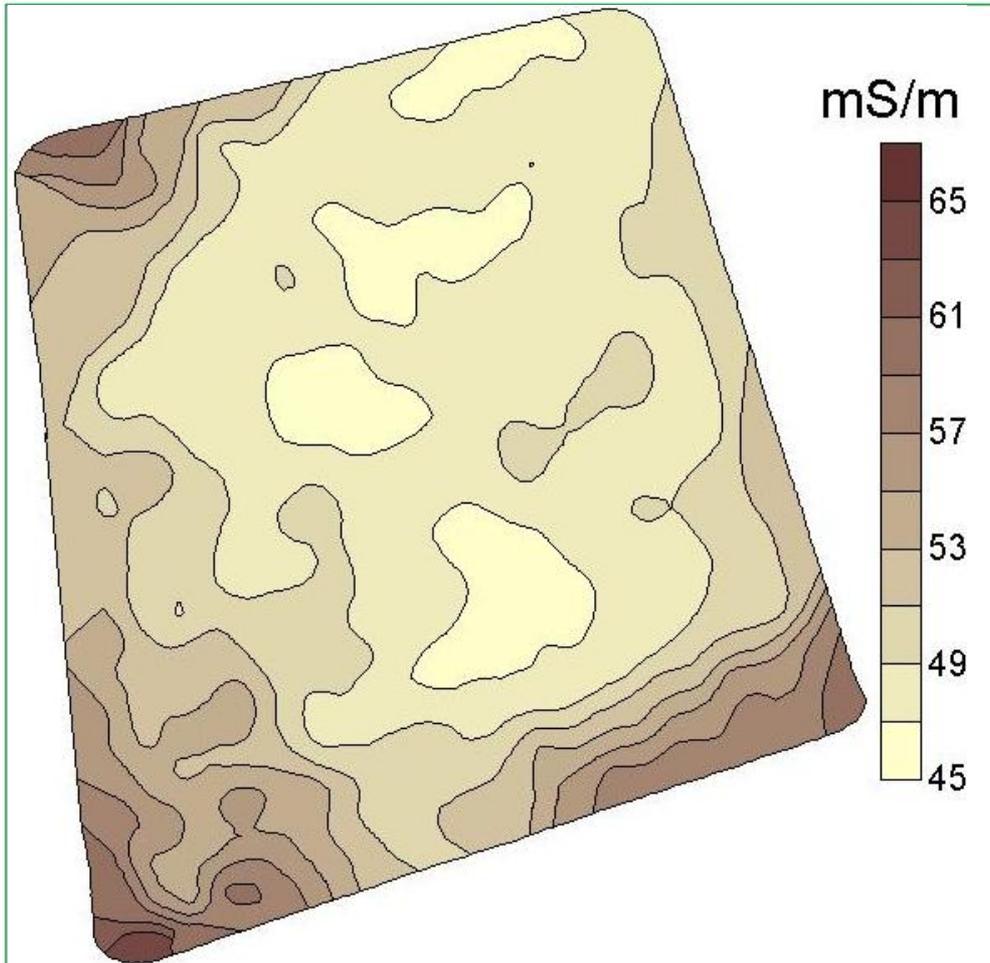




Das Lebensministerium



Teilschlagspezifische Bewirtschaftung

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Heft 34/2007

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Reduktion von Nährstoffausträgen durch teilschlagspezifische Bewirtschaftung
als Beitrag zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie**

Dr. Wilfried Schliephake

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielstellung des Projektes	2
2	Material und Methoden	2
3	Ergebnisse	3
3.1	Charakterisierung der Bodenheterogenität ausgewählter Ackerschläge im LVG Köllitsch	3
3.2	Beziehung von Ertragsvariabilität und Bodenheterogenität	10
3.2.1	Schlag „Am Flugplatz“	11
3.2.2	Schlag „Rüstergehege“	16
3.2.3	Fazit	18
3.3	Variabilität des N_{\min} in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens	19
3.3.1	Ergebnisse aus den Jahren 1998 bis 2000	20
3.3.2	Ergebnisse aus den Jahren 2005 bis 2007	26
3.3.3	Fazit	34
3.4	Erprobung einer teilschlagspezifischen N-Düngung unter Berücksichtigung der Variabilität des N_{\min}	35
3.4.1	Material und Methoden	35
3.4.2	Winterraps auf dem Schlag „Am Flugplatz“	37
3.4.3	Wintergerste	46
3.4.3.1	Schlag „Rüstergehege“	47
3.4.3.2	Schlag 121.23	54
3.4.4	Winterweizen	57
3.4.4.1	Schlag 121.4	58
3.4.4.2	Schlag 122.22	63
3.4.5	Fazit	69
3.5	Einfluss von unterschiedlicher Leitfähigkeit auf die Nährstoffverlagerung	70
3.5.1	Ergebnisse der Tiefenbeprobung auf dem Schlag „Am Flugplatz“	70
3.5.2	Ergebnisse der Tiefenbeprobung auf dem Schlag „122.22“	79
3.5.3	Fazit	82
4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	84
5	Literaturverzeichnis	89

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Mit der Wasserrahmenrichtlinie wird ein umfassender Schutz der Gewässer und die langfristige Verbesserung ihrer Güte verfolgt. Diese Ziele sind nur zu erreichen, wenn die vielfältigen Ursachen für die Belastung der Gewässer beseitigt werden. Anteil daran hat auch die landwirtschaftliche Produktion.

Eine Schwachstelle stellt die Stickstoffdüngung dar. Einerseits ist die ausreichende N-Versorgung als wichtiger ertragsbestimmender Faktor unerlässlich, andererseits wird das sehr gut bewegliche und nicht verbrauchte Nitrat oft mit dem Sickerwasser aus dem Wurzelraum der Pflanzen ausgebracht. Das kann zur Belastung des Grundwassers führen. Durch eine zeitlich und mengenmäßig an den Bedarf der Kulturpflanzen angepasste Stickstoffdüngung lässt sich das Risiko jedoch deutlich einschränken. Erschwert wird die bedarfsgerechte Stickstoffversorgung dadurch, dass Ackerschläge eine natürliche Heterogenität aufweisen.

Die Ausprägung auf den verschiedenen Standorten ist unterschiedlich stark. Besonders betroffen sind davon Flächen, deren Bodenbildung eiszeitlich geprägt wurde bzw. die durch Erosion eine deutliche Veränderung erfahren. Sie zeigen häufig extremen kleinräumigen Wechsel, der die Bewirtschaftung erschwert. Die Auswirkungen von Bodenheterogenität auf das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung können zwischen den Jahren sehr unterschiedlich sein. Sie werden stark von der Jahreswitterung geprägt. Besonders sichtbar sind die Unterschiede in trockenen Jahren. Positiv auf den Ertrag wirken sich dann ein hohes Wasserspeichervermögen und ein tiefer Wurzelraum aus.

Bodenheterogenität hat zur Folge, dass das Wasser und die darin gelösten Stoffe unterschiedlich schnell durch die Poren des Bodens transportiert werden. Die örtliche Transportgeschwindigkeit entscheidet darüber, ob die Bodenlösung eher gespeichert und von den Pflanzen zur Ertragsbildung genutzt werden kann oder in tiefere Bodenschichten verlagert wird. Daraus resultiert, dass auf den betreffenden Ackerschlägen selbst bei ausgeglichener Stickstoffbilanz punktuelle Verluste auftreten.

Vermeiden lässt sich dies nur durch eine teilschlagspezifische Stickstoffdüngung. Dabei geht es nicht darum, einen Ausgleich der natürlichen Ertragsvariabilität vorzunehmen. Ziel kann es nur sein, entsprechend der Gegebenheiten des Standortes und der jeweiligen Jahreswitterung eine kleinräumige Bestandesführung vorzunehmen. Ein steuernder Faktor ist dabei die Stickstoffdüngung. Sie ist entsprechend dem Ertragspotenzial der Teilfläche anzupassen. Die Grundlage für ein derartiges Vorgehen können Bodenkarten und Ertragsmuster bilden. Letztere leiten sich aus langjähriger Ertragskartierung ab.

1.2 Zielstellung des Projektes

Die Heterogenität des Bodens geht mit einer unterschiedlichen, natürlichen Fruchtbarkeit einher. Ziel der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung ist es, auf diese Unterschiede einzugehen. Es geht darum, kleinräumige optimale Wachstumsbedingungen zu schaffen. Dabei soll sowohl den ökonomischen als auch ökologischen Aspekten Rechnung getragen werden.

Dem Projekt liegt die Hypothese zugrunde, dass Bodenheterogenität im Trockengebiet zu gerichteten Unterschieden im N_{\min} -Gehalt des Bodens führt. Das wirkt sich auf den N-Bedarf der Bestände aus. Unter trockenen Anbaubedingungen ist besonderer Wert auf eine Bestandesführung zu legen, die den unproduktiven Wasserverbrauch möglichst einschränkt. Weil das Stickstoffangebot darauf starken Einfluss nimmt, ist es bereits zeitig kleinräumig zu differenzieren.

Im Mittelpunkt des Projektes standen folgende Fragestellungen:

- i. Wie umfangreich ist die Variabilität des N_{\min} in Abhängigkeit von den Bodenunterschieden?
- ii. Ist nach gezielter Beprobung bereits zu Vegetationsbeginn eine differenzierte N-Düngung möglich? Dazu ist zu prüfen, inwieweit Ertrags-, Boden- bzw. Leitfähigkeitskarten als Entscheidungshilfen dienen können.
- iii. Wie kann auf eine mögliche N_{\min} -Differenzierung zeitig reagiert werden? Sind diese Unterschiede auszugleichen oder beizubehalten.
- iv. Welche Rückschlüsse lassen sich aus den Mustern der Ertragskarten ziehen? Wie gut stimmen sie mit den Karten der elektrischen Leitfähigkeit überein?
- v. Bewirkt die ortsspezifische N-Düngung eine Reduzierung der Düngermenge bzw. eine Ertragssteigerung auf den untersuchten Schlägen gegenüber der einheitlichen Düngung?
- vi. Ergeben sich durch ortsspezifische N-Düngung ökologische Vorteile, wie Reduzierung der Nitratauswaschung gegenüber der herkömmlichen einheitlichen Düngung?

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen zum Projekt erfolgten im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch. Etwa 15 km südöstlich von Torgau in unmittelbarer Nähe der Elbe gelegen, handelt es sich hier um einen aus alluvialen Sedimenten entstandenen Boden, der zum Teil durch Sandbrücken durchsetzt ist.

Geprägt wird der Standort durch eine geringe Jahresniederschlagsmenge (< 500 mm) mit häufigen und längeren Trockenphasen in der Hauptvegetationszeit. Die Bodenzahl der Ackerschläge bewegt sich zwischen 50 und 80 Punkte. Für die landwirtschaftliche Nutzung stehen gegenwärtig etwa 660 ha Ackerfläche zur Verfügung. Auf dieser Fläche werden etwa 60 % Getreide, 19 % Mais und Ackerfutter und auf den restlichen 21 % Ölfrüchte, Zuckerrüben, Eiweißpflanzen und nachwachsende Rohstoffe angebaut.

Das Ertragsniveau der einzelnen Fruchtarten schwankt zwischen den Jahren beachtlich und wird stark vom Witterungsverlauf geprägt. Im Mittel der letzten Jahre wurden etwa beim Winterweizen 61 dt/ha, bei der Wintergerste 66 dt/ha und beim Winterraps 32 dt/ha geerntet.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Erfassung der Variabilität des N_{\min} in Abhängigkeit von der Bodenheterogenität. Zur Charakterisierung der Heterogenität der Ackerschläge wurde die elektrische Leitfähigkeit herangezogen. Für die meisten Schläge lagen entsprechende Messungen aus früheren Projekten vor bzw. weitere für die Versuchsdurchführung interessante Schläge wurden im Rahmen dieser Arbeit erfasst.

Die N_{\min} -Beprobungen erfolgen an georeferenzierten Messpunkten, die anhand der Leitfähigkeitskarten der Schläge festgelegt wurden. Aus einem 10 x 10 m großen Raster wurden für jede Probe fünf Einstiche mit einem Rillenbohrer entnommen. Die Probenahmetiefe betrug in der Regel 90 cm. Nach der Entnahme wurden die Bohrkern in 30 cm Schichten unterteilt.

Die Versuche zur teilschlagspezifischen N-Düngung wurden als Streifenversuche auf heterogenen Schlägen des Lehr- und Versuchsgutes Köllitsch mit den Kulturen Winterraps, Wintergerste und Winterweizen durchgeführt.

Spezielle Hinweise zu den jeweiligen Untersuchungen werden unter den jeweiligen Abschnitten beschrieben.

3 Ergebnisse

3.1 Charakterisierung der Bodenheterogenität ausgewählter Ackerschläge im LVG Köllitsch

Ein breites Wissen über die jeweilige Standortheterogenität ist Voraussetzung für eine erfolgreiche teilschlagspezifische Bewirtschaftung. Direkte Bodenuntersuchungen liefern dafür die besten Informationen. Die für diese Zwecke notwendige Flächenauflösung und die daraus resultierende Probenzahl sind allerdings zu aufwendig und zu teuer.

Mit der Reichsbodenschätzung liegen unter einheitlichen Kriterien erstellte Bodenkarten für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche Deutschlands vor. Durch das Beprobungsraster von 50 x 50 m liefern diese Karten gute Informationen zur Bodenart und der natürlichen Ertragsfähigkeit der Böden. Sie liegen zum Teil bereits digital vor und sind auch heute noch eine nutzbare Datenquelle für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung.

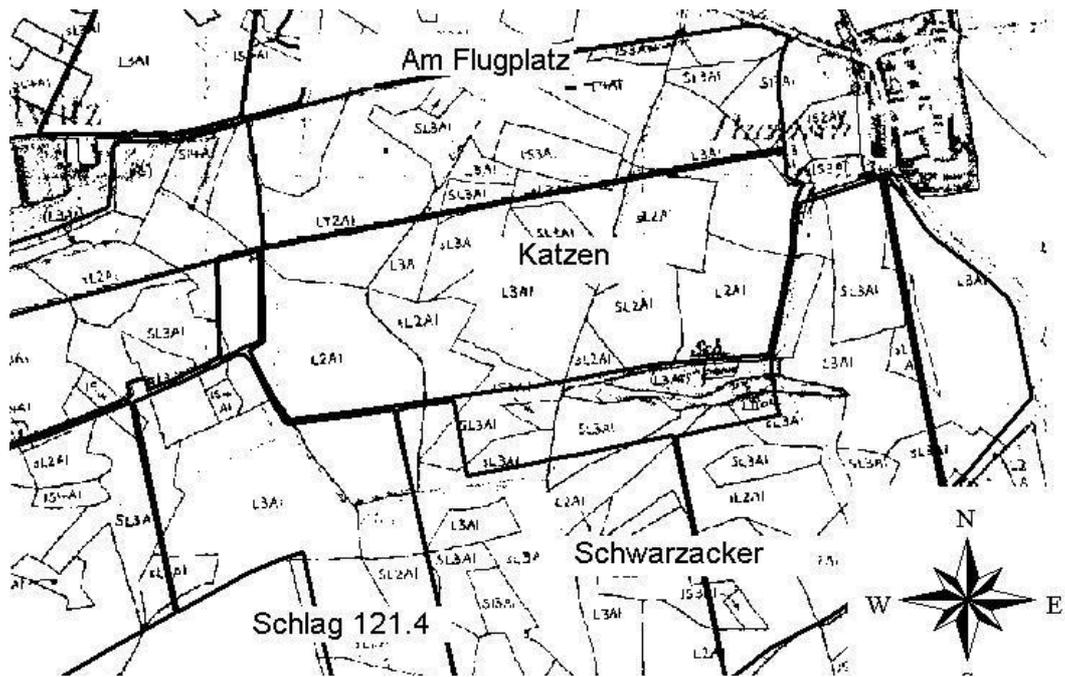


Abbildung 1: Ausschnitt aus der Karte der Reichsbodenschätzung mit Schlägen des LVG Köllitsch

In Abbildung 1 ist ein Ausschnitt der Reichsbodenkarte für markante Ackerschläge des LVG Köllitsch dargestellt. Er lässt bereits eine große Heterogenität des hier anstehenden Bodens erkennen. In ihrer Gesamtheit sind die in der Elbaue befindlichen Schläge von stark wechselnder Bodenart und durch deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Körnung betroffen.

Für den rund 39 ha großen Schlag „Am Flugplatz“ sind die hier vergesellschafteten Bodenarten zur besseren Unterscheidung farblich differenziert dargestellt (Abb. 2). Entsprechend der vorgegebenen Bewertungskriterien weist dieser Schlag nach der Reichsbodenschätzung neun Bodenarten auf.

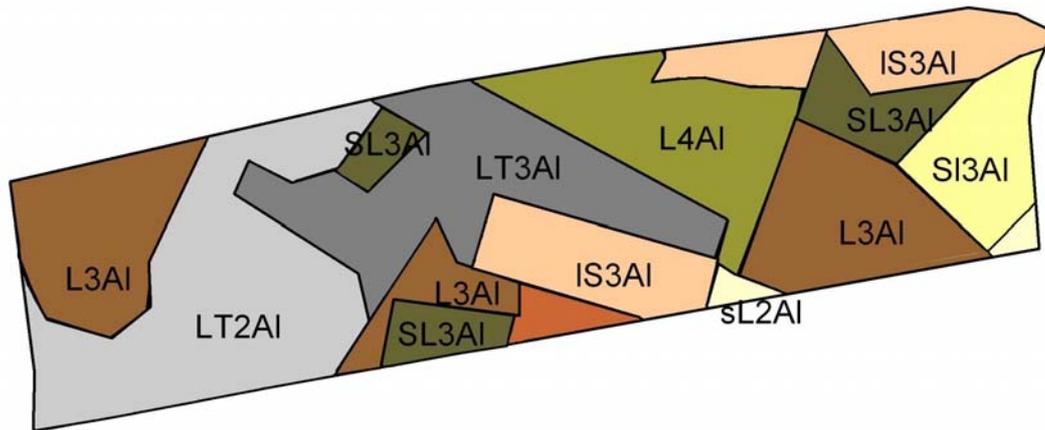


Abbildung 2: Verteilung der Bodenarten auf dem Schlag „Am Flugplatz“ nach der Reichsbodenschätzung

Aus der Reichsbodenschätzung liegen für Deutschland flächendeckende Bodenkarten vor. Kritisch wird heute oft gesehen, dass bei Nutzung dieser alten Karten die jahrzehntelange bodenkundliche Forschung, besonders im Bereich der Bodensystematik, keine Berücksichtigung findet und somit nicht zum Allgemeingut wird.

Zur Charakterisierung der Bodenheterogenität bieten sich auch andere Vorgehensweisen an. In Amerika wurde auf den zur Versalzung neigenden Böden bereits vor mehr als 20 Jahren Leitfähigkeitsmessungen genutzt, um die besonders gefährdeten Schlagteile zu ermitteln. Dass die elektrische Leitfähigkeit nicht nur in Beziehung zur Bodenfeuchte und den darin gelösten Salzen steht, sondern vor allem auch zur Textur, hat dieses Messverfahren für andere Standorte interessant gemacht. Zu Einsatzmöglichkeiten der elektrischen Leitfähigkeit bei der Präzisionslandwirtschaft geben CORWIN und LENSCH (2003) einen guten Überblick. Danach sind Leitfähigkeitsmessungen eine günstige Alternative zur Erfassung der Bodenheterogenität für die teilschlagspezifische Bewirtschaftung. Im Vergleich zur Reichsbodenschätzung ergeben sich dabei sogar bessere Abgrenzungen bei den Substratunterschieden (SCHMIDHALTER u. a. 2004).

Für die Bestimmung der Bodenleitfähigkeit bieten sich verschiedene physikalisch sehr unterschiedliche Messmethoden an. Die Verfahren arbeiten entweder auf der Grundlage von galvanischen oder kapazitiven Messungen bzw. auf dem Prinzip der Elektromagnetik. Bei den elektromagnetischen Untersuchungen kommt vor allem das EM 38 von GEONICS zum Einsatz. Die hier ermittelten Werte stellen sich als ein Summenparameter für die Tiefe von 120 ... 150 cm dar. Über Einsatzmöglichkeiten dieses Gerätes bei der Kartierung berichten z. B. LÜCK u. a. (2002). Ein wesentlicher Vorteil ist, dass es sich um ein nicht destruktives Messverfahren handelt.

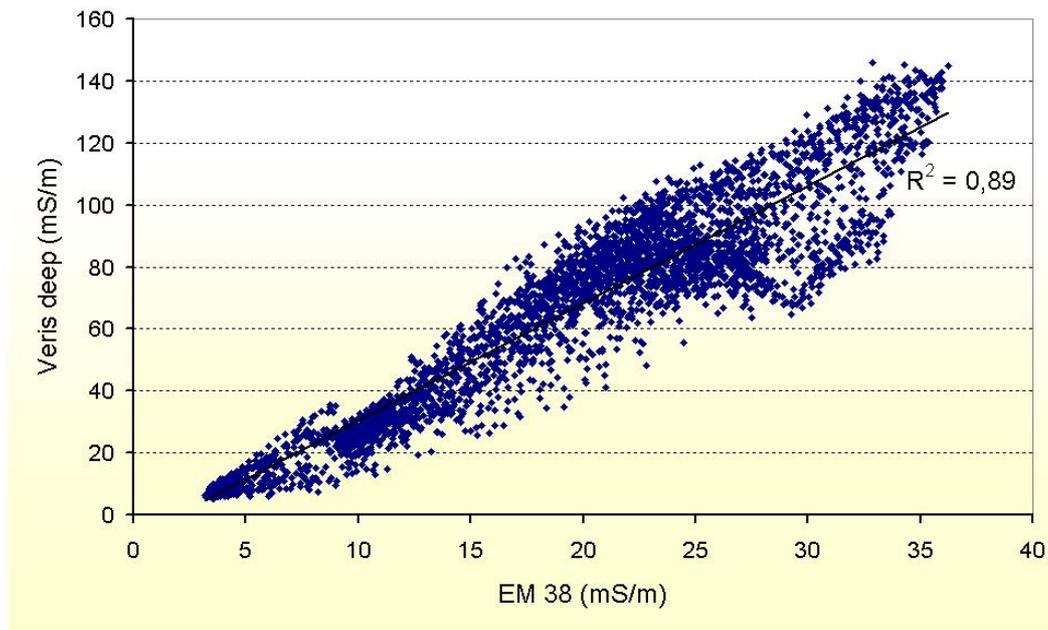


Abbildung 3: Beziehung zwischen den Ergebnissen der Leitfähigkeitsmessungen mit dem EM 38 und Veris 3100 auf dem Schlag „Am Flugplatz“ bei annähernd gleicher Tiefenerfassung

Auf der Basis der Gleichstromgeoelektrik arbeitet das VERIS 3100 von Veris Technologies. Durch einen unterschiedlichen Abstand der Elektroden (Scheibenseche, die in den Boden eingreifen) können Messungen für unterschiedliche Bodentiefen durchgeführt werden.

Erprobt wurden im LVG Köllitsch beide Geräte. Die Untersuchungen erbrachten zumeist eine gute Korrelation zwischen den verschiedenen Leitfähigkeitsmesswerten (Abb. 3), was mit den in der Literatur beschriebenen Ergebnissen übereinstimmt (z. B. SUDDUTH, u. a. 2003). Bei beiden Messprinzipien treten ähnliche Beziehungen zu den physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften auf (MUELLER, 2003).

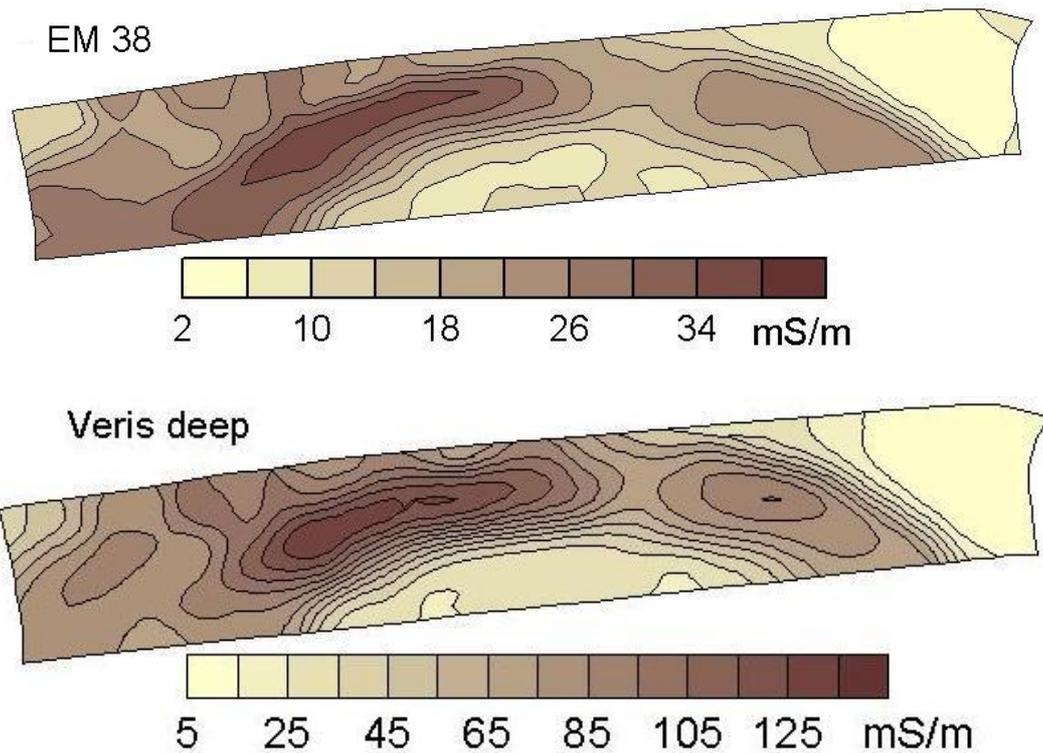


Abbildung 4: Karte der Leitfähigkeit des Bodens für den Schlag „Am Flugplatz“ nach dem geelektrischen (Veris 3100) und dem elektromagnetischen Messverfahren (EM 38)

Für den Schlag „Am Flugplatz“ werden in Abbildung 4 beispielhaft die Leitfähigkeitskarten nach den Messwerten vom EM 38 und von Veris 3100 dargestellt. Anzumerken ist, dass durch „Veris deep“ nicht die Bodentiefe wie beim EM 38 erfasst wird. Trotzdem zeigt sich an diesem Beispiel die gute Übereinstimmung. Die Karten weisen weitgehend die gleichen Muster auf (vgl. auch Abb. 3).

Ein wesentlicher Vorteil von Veris 3100 ist, dass durch die unterschiedlichen Tiefenbereiche vorhandene Schichtungen sichtbar werden (Abb. 5). Im Fall des Schlages 122.22 werden die bestehenden Unterschiede wesentlich deutlicher sichtbar. Während in Teilbereichen bereits der Oberboden deutliche Unterschiede aufweist, treten sie an anderen Stellen erst im Unterboden in Erscheinung. Sichtbar wird durch die Leitfähigkeitskarten, dass die Konturen wesentlich abgerundeter sind als in den Karten der Reichsbodenschätzung (Abb. 5 bis 7)

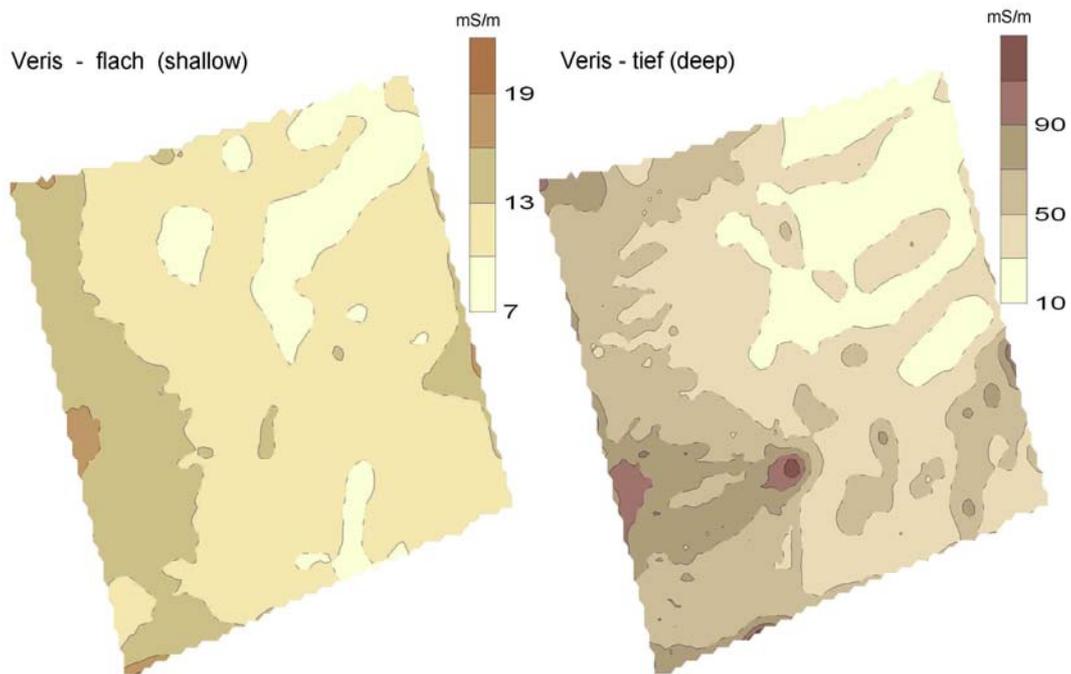


Abbildung 5: Leitfähigkeit des Bodens gemessen mit dem Veris 3100 für zwei Tiefenbereiche (flach 0 - 30 cm und tief 0 - 100 cm) auf dem Schlag 122.22

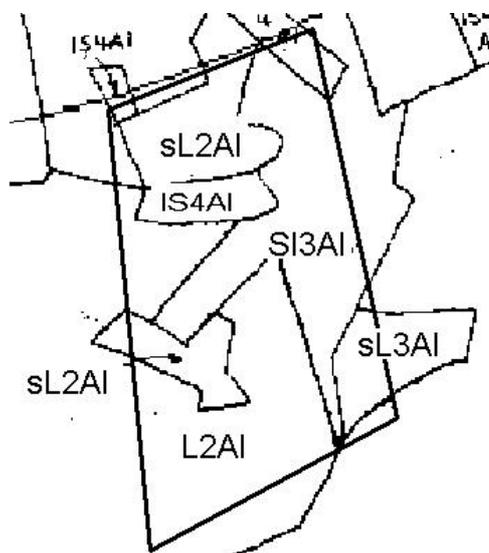


Abbildung 6: Verteilung der Bodenarten nach der Reichsbodenschätzung auf dem Schlag 122.22 (13,7 ha)

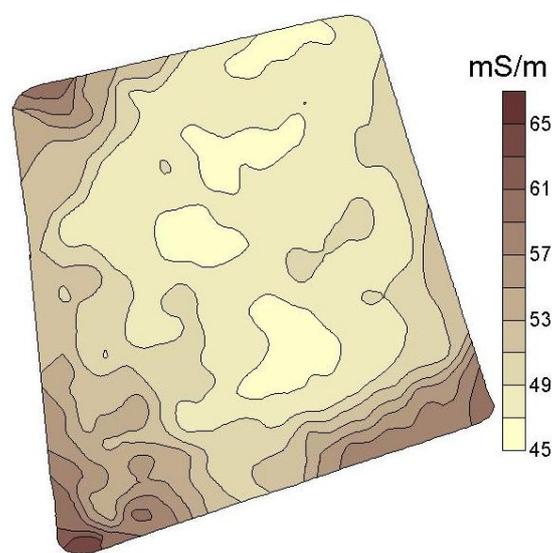


Abbildung 7: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit vom Schlag 122.22, ermittelt mit dem EM 38

Für Untersuchungen zur teilschlagspezifischen N-Düngung im Jahr 2006 wurden neben dem Schlag „Am Flugplatz“ und dem Schlag 122.22 drei weitere Ackerschläge genutzt. Die Leitfähigkeitskarten sind in den Abbildungen 8 bis 10 dargestellt. Eine Beurteilung und ein Vergleich der Heterogenität zwischen den Schlägen sind anhand dieser Leitfähigkeitsmesswerte allerdings nur begrenzt möglich. Die Messwerte der Leitfähigkeit reproduzieren sich zwar sehr gut. Die absolute Höhe und auch die Spreizung der Werte werden jedoch von einer Vielzahl von äußeren Faktoren beeinflusst, die bei den über verschiedenen Jahren durchgeführten Messungen nicht konstant waren.

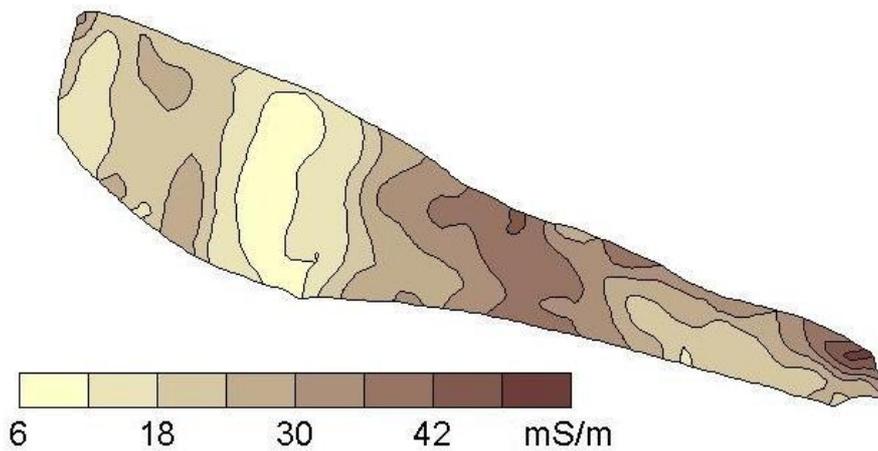


Abbildung 8: Karte der Leitfähigkeit (EM 38); Schlag „Rüstergehege“

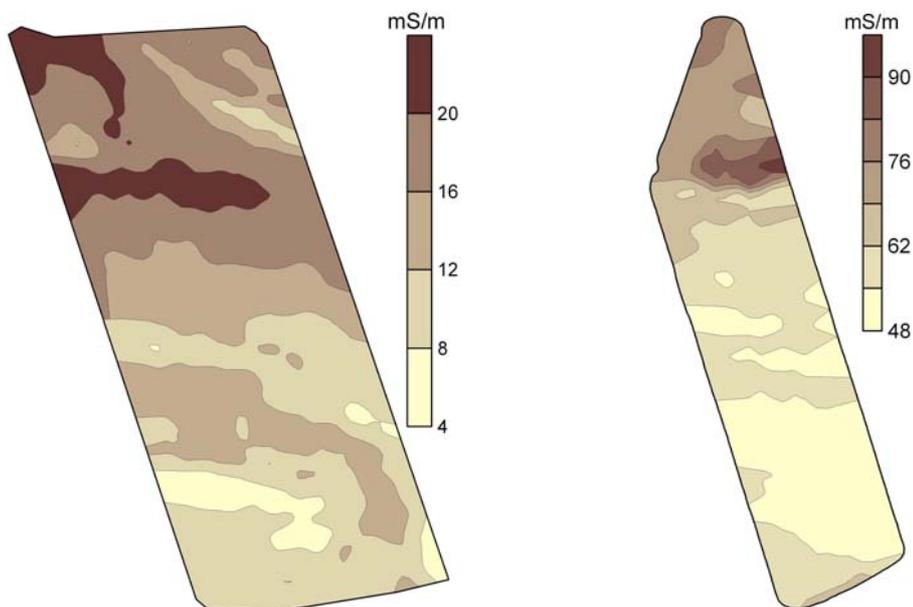


Abbildung 9: Karte der Leitfähigkeit (EM 38); Schlag „121.4“

Abbildung 10: Karte der Leitfähigkeit (EM 38); Schlag „121.23“

3.2 Beziehung von Ertragsvariabilität und Bodenheterogenität

Ertragskarten bilden eine wichtige und kostengünstige Informationsquelle bei der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung. Während sie anfangs lediglich Informationen über die im Einzeljahr vorliegende Ertragsvariabilität innerhalb des Schlages liefern, dienen sie später auch zur Erfolgskontrolle der eingesetzten Maßnahmen. Sie machen sichtbar, in welchem Umfang ein Ausgleich von Unterschieden, z. B. bei der Nährstoffversorgung zu einem Angleichen des Ertrages innerhalb des Schlages führt. Ertragskarten geben allerdings keine Auskunft über die Ursachen der vorhandenen Variabilität.

Erste Ertragskartierungen im LVG Köllitsch erfolgten 1997. In den letzten Jahren wurde angestrebt, damit die gesamte Druschfruchtfläche zu erfassen. Eine vollständige Aufarbeitung der Urdaten und Verarbeitung zu Karten liegt bisher allerdings noch nicht vor. An dieser Stelle soll dies an Beispielen erfolgen, um die Beziehung von Ertragsvariabilität und Bodenheterogenität und den Jahreseinfluss aufzuzeigen. Dafür ausgewählt wurden zwei Schläge, auf denen vorwiegend Druschfrüchte zum Anbau kamen und somit eine große Anzahl von Jahren zur Auswertung zur Verfügung standen.

Die Ertragsermittlung mit dem Mähdrescher erfolgt mit Sensoren, die entweder den Massen- oder den Volumenstrom des Erntegutes im Körnerellevator ermitteln. Während der Massenstrom über Prallplatten am Elevatorkopf bestimmt wird, erfolgt die Messung des Volumenstroms vorwiegend über Lichtschranken. Über die aktuelle Fahrgeschwindigkeit und der Schnittbreite des Mähdreschers wird ein Flächenertrag berechnet. Daneben erfassen die Systeme auf unterschiedliche Weise den Feuchtegehalt des Erntegutes zur Ableitung des Trockenertrages.

Im LVG Köllitsch wurden über die Jahre Mähdrescher verschiedener Hersteller eingesetzt. Die Folge war, dass damit auch die verschiedenen Systeme der Ertragsermittlung nebeneinander zum Einsatz kamen. Für die Erstellung von Ertragskarten war dies problematisch, weil die aufgezeichneten Messwerte in unterschiedlichen Dateiformaten ausgegeben werden und die vom Hersteller der Mähdrescher mitgelieferte Auswertungssoftware für eine exakte Abbildung der Ertragsverhältnisse auf den Schlägen nicht genutzt werden konnten. Um aussagefähige Karten zu erstellen, ist deshalb ein zusätzlicher Arbeitsaufwand nötig. Zudem müssen die Messwerte der unterschiedlichen Systeme entsprechend über den real ermittelten Ertrag angeglichen werden. Erst nach einer abschließenden Plausibilitätsprüfung des gesamten Datenmaterials und Korrektur bzw. Eliminierung fehlerhafter Messwerte lassen sich aussagefähige Ertragskarten erarbeiten.

Für die letztendliche Erstellung der Ertragskarten erfolgt eine flächenhafte Interpolation der Ertragsmesswerte. Für die im Folgenden dargestellten Karten wurde hierzu die Software „Surfer 8“ (Golden Software, Inc.) genutzt. Zur Verfügung stehen hier verschiedene geostatistische Verfahren. In der Regel wurde für die Erstellung der Ertragskarten das Kriging-Verfahren angewandt.

Mit dem Kriging lassen sich optimale, lineare und unverzerrte flächenhafte Schätzwerte aus den Ertragsmesswerten erstellen, bei Einhaltung einer minimalen Varianz. Dabei nutzt das Kriging Informationen über die räumliche Abhängigkeit der Variablen, der Form des zu schätzenden Gebietes und der Anordnung der Probestellen zum Vorhersageort. Die Wichtung der Ertragsmesswerte erfolgt entsprechend ihrer Lage zum krigenden Ort. Liegen Ertragswerte näher am Ort der Schätzung, so erhalten sie ein höheres Gewicht als weiter entfernte und schirmen diese dadurch ab. Weiter entfernte Messwerte erhalten nur dann ein größeres Gewicht, wenn Nugget-Varianz vorhanden ist.

Im Folgenden soll am Beispiel von zwei Schlägen ein Überblick zur Ertragsvariabilität gegeben werden. Im Vordergrund steht dabei die Frage, in welchem Umfang sich die Ertragsunterschiede über die Jahre mit denen aus den Leitfähigkeitsmessungen bekannten Differenzierungen decken. Unter diesen Bedingungen ist die Ertragsvariabilität stark von der Bodenheterogenität und den daraus resultierenden Unterschieden in der Nährstoffdynamik sowie dem Bodenwasser geprägt. Findet sich dagegen nur eine schwache Beziehung, so sollten kurzfristige Ursachen (acker- und pflanzenbauliche Fehler, Krankheitsherde usw.) für die Ertragsvariabilität verantwortlich sein.

3.2.1 Schlag „Am Flugplatz“

In Abbildung 11 sind die Ertragskarten der Jahre von 2001 bis 2006 für den Schlag „Am Flugplatz“ wiedergegeben. Die angebauten Früchte weisen über diesen Zeitabschnitt ein sehr unterschiedliches Ertragsniveau auf. Deutlich wird aber, dass auf einzelne Teilflächen regelmäßig wiederkehrend hohe bzw. sehr niedrige Erträge erzielt werden. Durch eine Zusammenfassung dieser Karten über den in den Ertragsrastern (5 x 5 m) ermittelten Relativertrag (prozentuale Abweichung vom mittleren Flächenertrag) wird dies bestätigt (Abb. 12). Bemerkenswert ist aber auch, dass sich in den dargestellten zwei Zeitabschnitten die Spreizung des Ertrages kaum verändert hat (Tab. 1).

Tabelle 1: Prozentualer Anteil der Ertragsklassen auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Ertragsklasse	Jahre	
	1998 bis 2001	2003 bis 2006
< 85	20,6	19,2
85 - 95	11,1	12,1
95 - 105	18,5	15,7
105 - 115	21,1	33,9
> 115	28,7	19,1

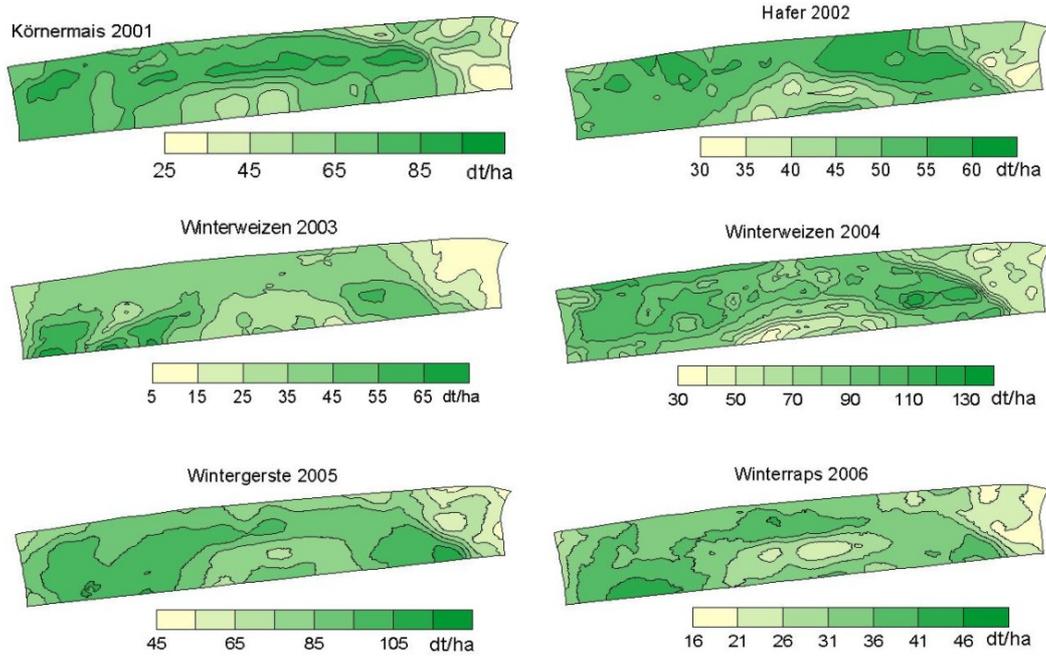


Abbildung 11: Ertragskarten der Jahre 2001 bis 2006 vom Schlag „Am Flugplatz“

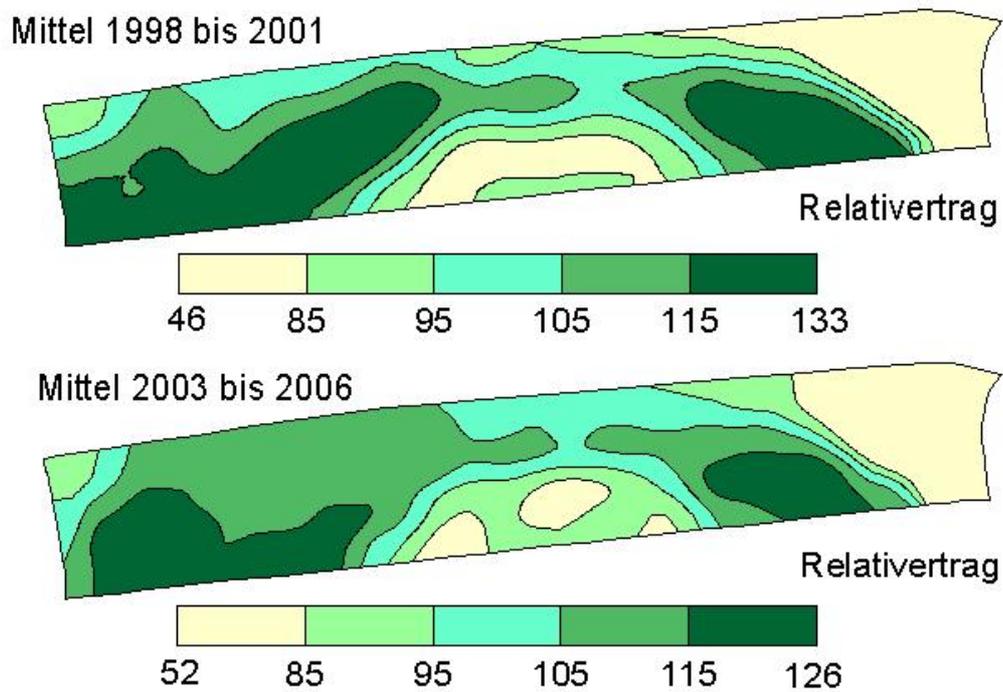


Abbildung 12: Mittlerer Relativertrag für den Zeitraum 1998 bis 2001 und 2003 bis 2006

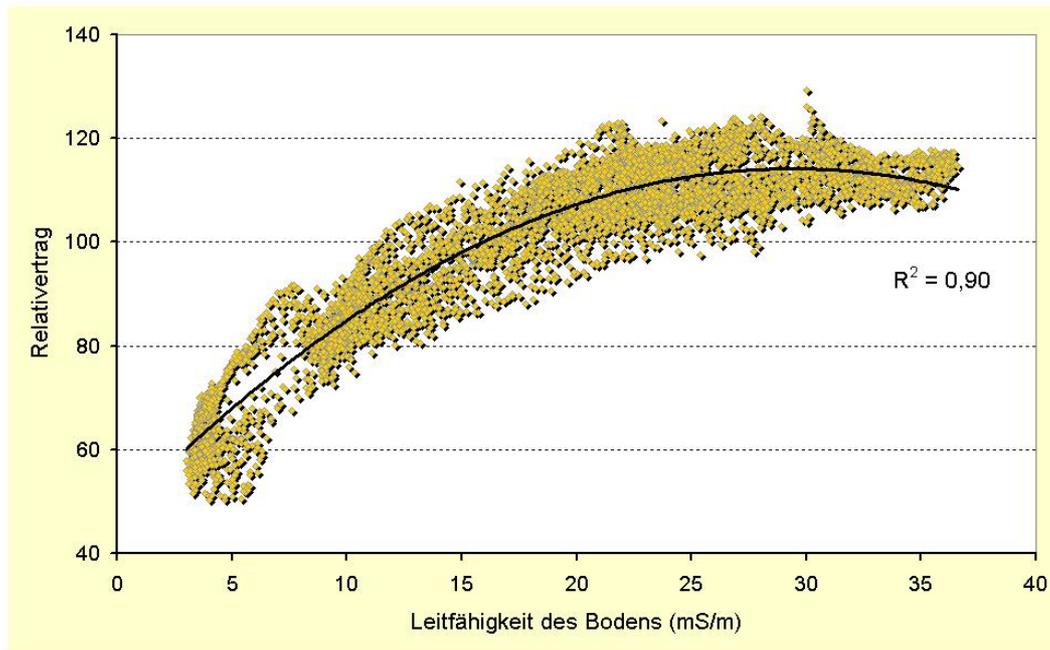


Abbildung 13: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem mittleren Relativertrag der Druschfrüchte auf dem Schlag „Am Flugplatz“ aus den Jahren 2000 bis 2006

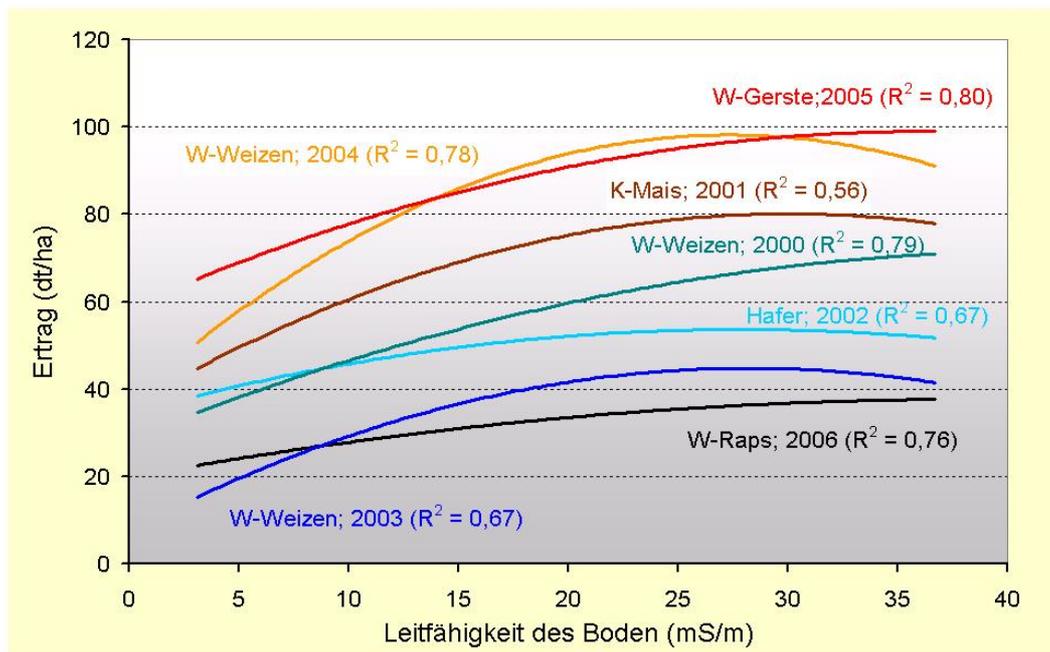


Abbildung 14: Ertragskurven der in den Jahren 2000 bis 2006 auf dem Schlag „Am Flugplatz“ angebauten Früchte in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens

Der mittlere Relativertrag der Jahre 2000 bis 2006 weist insgesamt eine sehr enge Beziehung zur Leitfähigkeit des Bodens auf (Abb. 13). In den Einzeljahren wird dieses hohe Bestimmtheitsmaß nicht erreicht. Die Ertragskurven der in den letzten sieben Jahren angebauten Früchte lassen das unterschiedliche Ertragsniveau sowie einen sehr unterschiedlichen Anstieg der Kurven erkennen (Abb. 14). Auffallend ist, dass bei hoher Leitfähigkeit in Einzeljahren der Ertrag wieder abfällt. Die Bodenart auf den Teilflächen mit hoher Leitfähigkeit entspricht auf diesem Schlag tonigem Lehm. Eine häufige Ursache für den Ertragsabfall ist hier, dass bei ungünstigen Witterungsbedingungen zur Saatbeetbereitung und Aussaat keine optimalen Pflanzenbestände etabliert werden.

Wie entscheidend für die Erträge die Niederschlagsmenge und ihre Verteilung sind, lässt sich am Beispiel der drei Winterweizenjahre eindrucksvoll dokumentieren (Abb. 15). Der hohe mittlere Korn-ertrag 2004 wurde bei einem Niederschlag von rund 350 mm von Januar bis Juli erzielt, während im gleichen Zeitabschnitt 2003 lediglich 174 mm Niederschlag zur Verfügung standen. Bemerkenswert bleibt in jedem Fall, dass die größte Differenziertheit innerhalb des Schrages im ertragreichsten Jahr auftrat. Abbildung 16 belegt dann, dass selbst in diesem feuchteren Jahr vermutlich nicht das N-Angebot Ursache für den Ertragsabfall auf den Teilflächen mit niedriger Leitfähigkeit war, sondern das verfügbare Wasser. Nach einheitlicher erster N-Gabe hatte sich der Weizenbestand bereits differenziert. Das belegt der Bestandesindex (Abb. 16, oben). Der Bestandeszustand führte zu einer Erhöhung der zweiten N-Gabe durch den Sensor. Verhindern ließ sich die große Ertragsdifferenzierung allerdings nicht.

Die Reaktion des N-Sensors zur zweiten N-Gabe war in den beiden anderen Weizenjahren (2000 und 2003, hier nicht mitgeteilt) sehr ähnlich. Dabei erfolgte ebenfalls eine Erhöhung der zweiten N-Gabe im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit. Dies weist zumindest indirekt daraufhin, dass zu Vegetationsbeginn eine in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit gerichtete Differenzierung im N_{\min} vorlag. Für das Jahr 2000 werden die Ergebnisse der N_{\min} -Rasterbeprobung (vgl. 3.3.1) damit eindrucksvoll bestätigt.

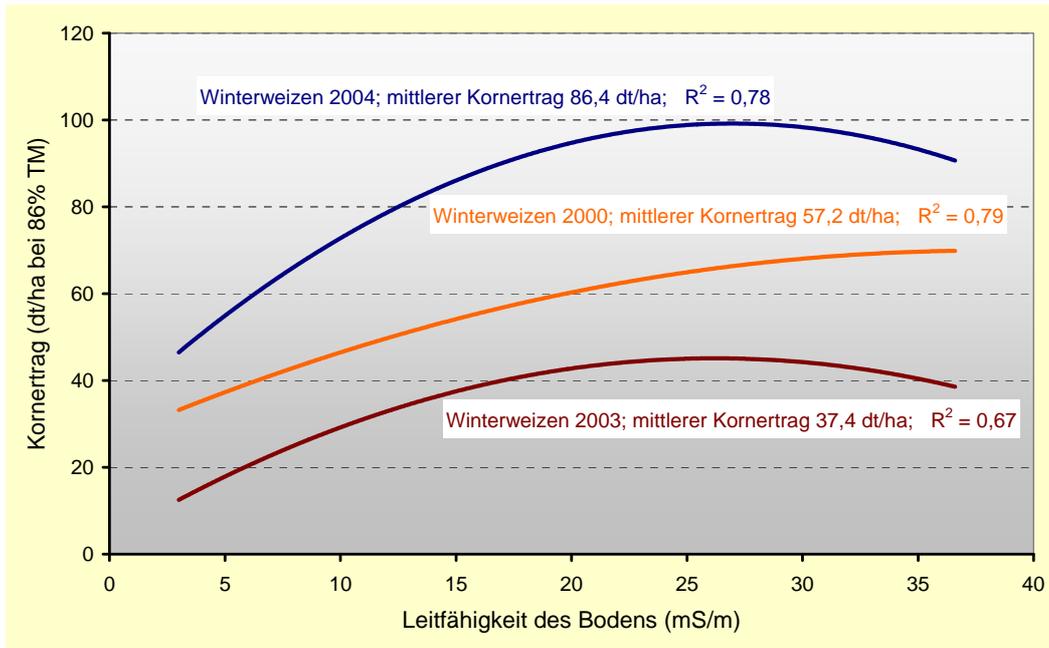


Abbildung 15: Ertragskurven des auf dem Schlag „Am Flugplatz“ in den Jahren seit 2000 angebaute Winterweizens

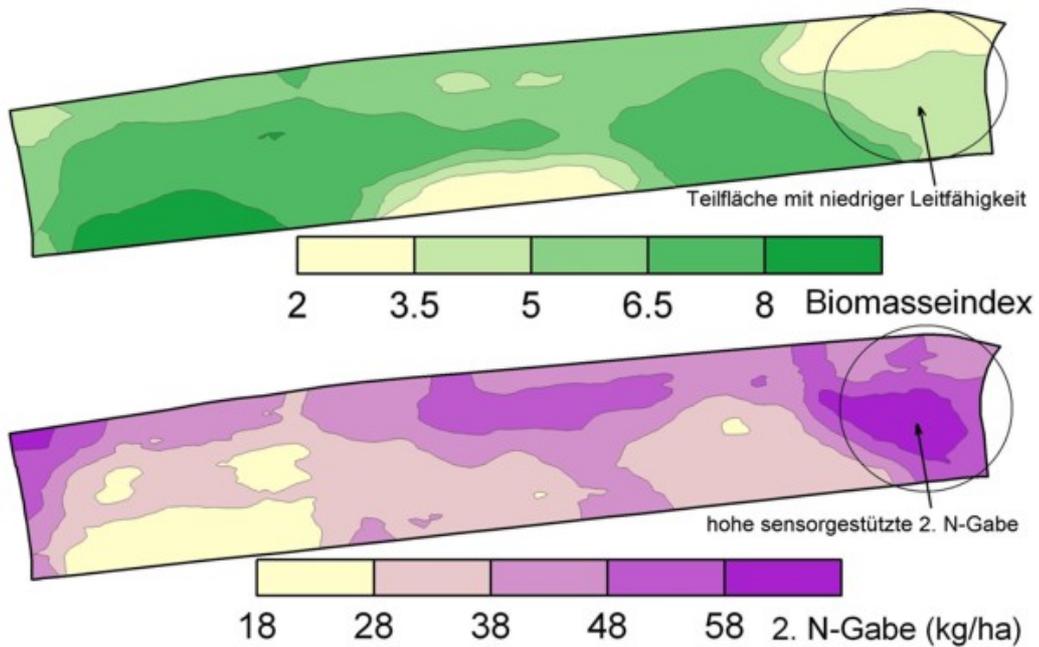


Abbildung 16: Bestandesindex des Winterweizens 2004 zur zweiten N-Gabe und die mittels Sensor ausgebrachte N-Menge

3.2.2 Schlag „Rüstergehege“

Deutliche Parallelen finden sich auch auf dem Schlag „Rüstergehege“ (Abb. 17), wobei die Ertragsmuster nicht so ausgeprägt sind. Eine Zusammenfassung der einzelnen Jahre über den Relativertrag (Abb. 18) in den jeweiligen Ertragsrastern ergab wiederum eine enge Beziehung zur Leitfähigkeit des Bodens ($r = 0,75$). Die über den Relativertrag der in den Jahren 1998 bis 2006 angebauten Druschfrüchte erstellte Karte lässt auch für diesen Schlag eine deutliche Unterteilung in Zonen mit hohen und niedrigen Erträgen erkennen (Abb. 19).

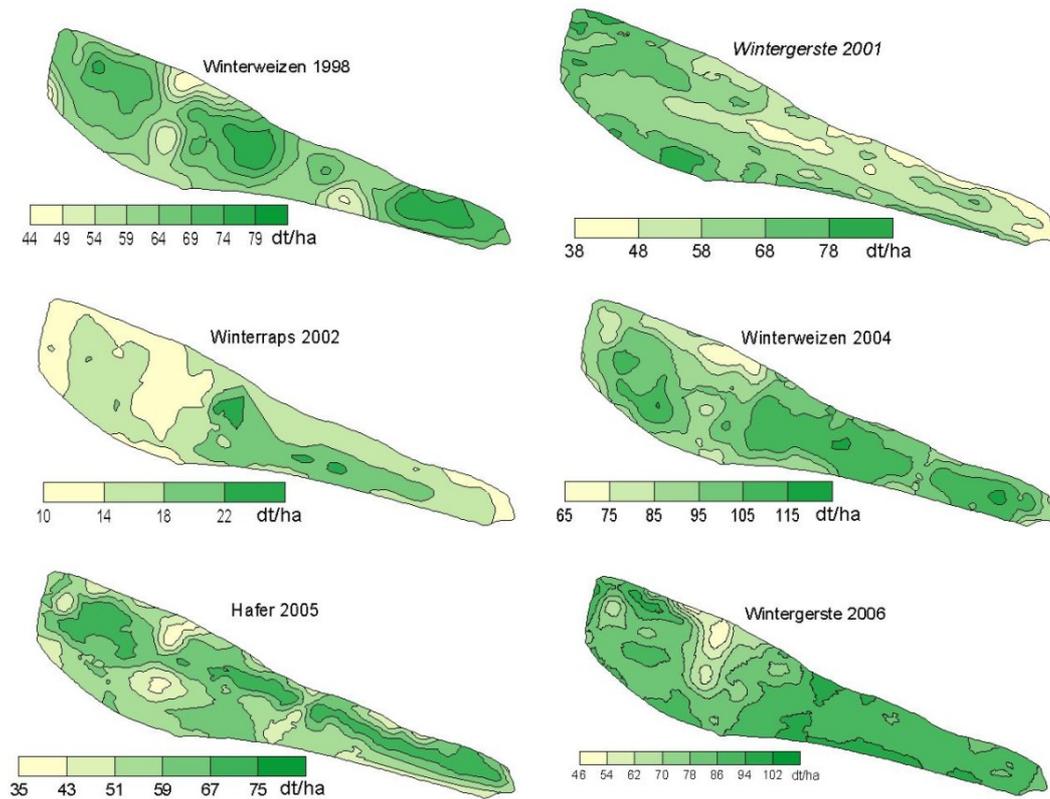


Abbildung 17: Ertragskarten der in den Jahren 1998 bis 2006 auf dem Schlag „Rüstergehege“ angebauten Druschfrüchte

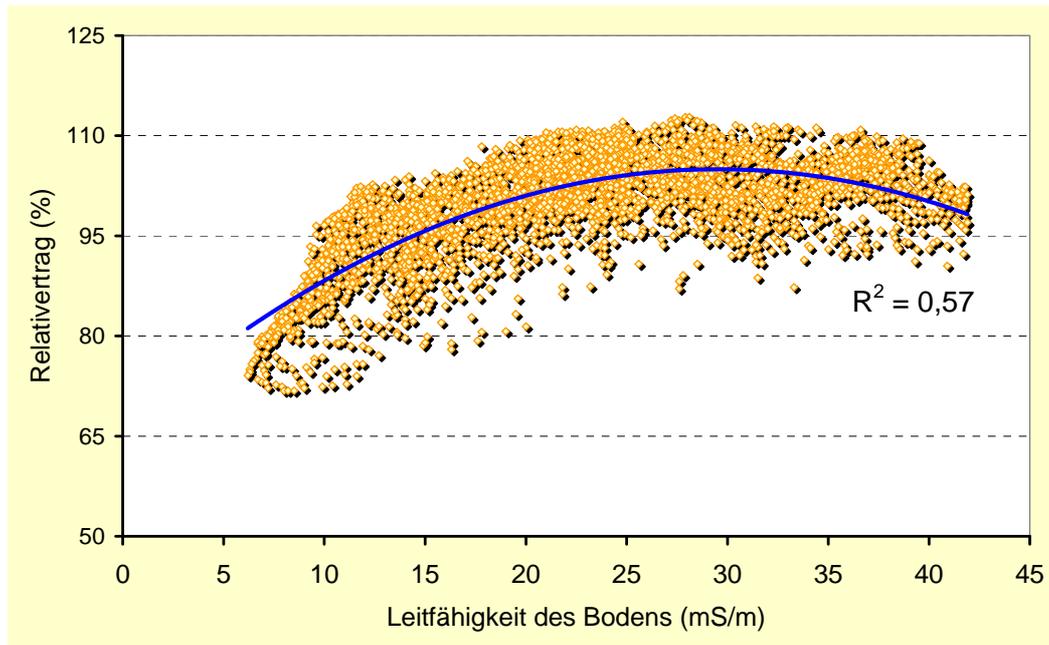


Abbildung 18: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem mittleren Relativertrag

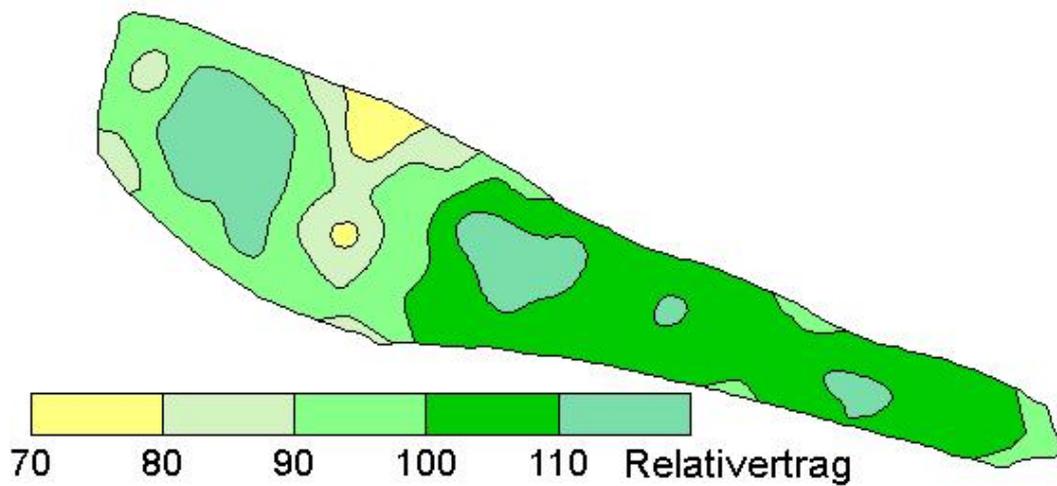


Abbildung 19: Mittlerer Relativertrag der Druschfrüchte für den Zeitabschnitt 1998 bis 2006

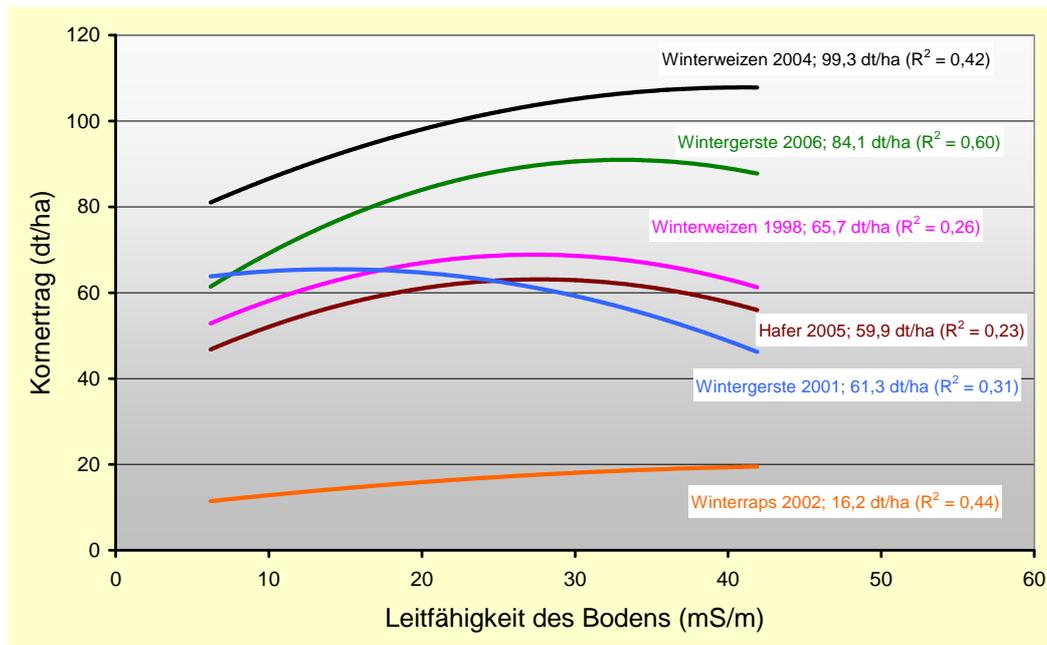


Abbildung 20: Ertragskurven der in den Jahren 1998 bis 2006 auf dem Schlag „Rüstergehege“ angebauten Druschfrüchte in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens

Die Ertragskurven steigen auch hier mit Zunahme der Leitfähigkeit an (Abb. 20). Das Anbaujahr 2000/2001 stellt eine Ausnahme dar. Die abweichende Reaktion der angebauten Wintergerste ist vermutlich der Tatsache geschuldet, dass nach dem trockenen Vegetationsjahr 2000 (es fielen lediglich 376 mm Niederschlag) auf dem Auenboden die Etablierung eines optimalen Bestandes auf den Teilflächen mit hohem Ton- und Schluffanteilen (hohe Leitfähigkeit) misslang.

3.2.3 Fazit

Die auswertbaren Schlagdaten der Ertragskartierung im LVG Köllitsch weisen in den meisten Jahren eine beachtliche Variabilität auf. Die Differenziertheit ist stark räumlich festgelegt. In den Ertragskarten finden sich insbesondere auf den größeren Schlägen relativ stabile Muster. Ursache ist die Heterogenität des Bodens. Am ausgeprägtesten findet es sich in den ertragsstarken Jahren wieder.

Die Leitfähigkeit als ein Ausdruck für die Bodenheterogenität weist nicht nur eine enge Beziehung zum Bodenwasser sondern auch zum Ertrag auf. Vor dem Hintergrund von < 500 mm mittlerem Jahresniederschlag ist dies auch verständlich. Weil im Verlauf der Vegetation nicht nur unter den Standortbedingungen von Köllitsch, sondern für weite Teile Sachsens eine begrenzte Niederschlagsmenge zur Verfügung steht, hat natürlich der Boden als Wasserspeicher eine besondere Bedeutung. Hohe Leitfähigkeit ist immer mit einem größeren Wasservorrat im durchwurzelbaren

Bodenvolumen verbunden. Damit lassen sich längere Trockenphasen besser und ohne größere Ertragseinbrüche überbrücken.

Die Probleme verschärfen sich unter den prognostizierten Klimaveränderungen mit der Verschiebung der jährlichen Niederschläge zum Winter und längeren Trockenphasen im Frühjahr und Sommer. Eine stärkere Ausrichtung der Bewirtschaftung auf die Ertragsfähigkeit der Teilflächen durch die Einrichtung von Ertrags- bzw. Managementzonen muss zukünftig wichtigstes Ziel sein. Neben einer besseren Ausnutzung des vorhandenen Ertragspotenzials führt dies zu einer höheren Effizienz der eingesetzten Nährstoffe.

Das betrifft natürlich auch die N-Düngung. Im Sinne der Nachhaltigkeit lassen sich so teilflächenbezogene, ausgeglichene Nährstoffbilanzen realisieren. Verhindert werden aber auch in Bereichen mit geringem Wasserhaltevermögen und niedrigen Erträgen punktuelle N-Verluste. Zur Demonstration wurde jedoch auf eine N-Bilanzierung verzichtet. Zwar liegen durch die Ertragskartierung die Erträge flächendeckend vor, weil aber nicht die jeweils dazugehörigen N-Gehalte ermittelt wurden, lassen sich die Stickstoffentzüge nicht exakt ermitteln. Richtwerte geben nicht die beachtliche Vielfalt wieder, die innerhalb eines Schläges auftreten kann. Lediglich bei einheitlichem Boden und einheitlicher Stickstoffdüngung ist davon auszugehen, dass in den Bereichen mit hohen Erträgen die N-Gehalte niedriger und auf Teilflächen mit niedrigem Ertragsniveau die Stickstoffgehalte in den Ernten deutlich höher ausfallen.

3.3 Variabilität des N_{\min} in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens

Bei der N-Düngebedarfsermittlung zu Beginn der Vegetation hat sich die Berücksichtigung des N_{\min} im Boden als wichtiges Hilfsmittel bewährt. Während sich in der Hauptwachstumszeit der Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden in kürzester Zeit verändern kann (Aufnahme durch den Pflanzenbestand, Mineralisation und Immobilisation usw.), sind ausgangs des Winters die Gehalte relativ stabil. Auf Grund der noch niedrigen Bodentemperaturen ist die mikrobielle Aktivität gering, so dass die Nachlieferung aus organisch gebundenen Stickstoff oder auch die Einbindung in nicht pflanzenverfügbarer Form zu vernachlässigen sind. Weil im Verlauf des Winters der Wasservorrat des Bodens aufgefüllt wird und im Normalfall selbst im mitteleuropäischen Trockengebiet die Feldkapazität im Wurzelraum der Pflanzen eingestellt ist, lassen sich zu diesem Zeitpunkt relativ einfach Aussagen über die Bewegung des Nitratstickstoffs mittels einfacher Simulationsmodelle treffen.

Um repräsentative Werte aus den Bodenuntersuchungen zu erzielen und die teilweise beachtliche räumliche Variabilität des N_{\min} auf Ackerschlägen zu erfassen, sind Mindestanforderungen an die Probenahme einzuhalten. Das betrifft besonders die sinnvolle Unterteilung der Schläge, den Umfang der Einstiche und die Aufarbeitung der gewonnenen Bodenprobe für das Labor. Für die teilchlagspezifische N-Düngung wird die Bodenuntersuchung bislang kaum berücksichtigt. Zum einen wegen des damit verbundenen hohen Arbeits- und Kostenaufwands und zum anderen weil es bis-

her an erprobten, möglichst einfachen Algorithmen zur Differenzierung der Düngung zu diesem Zeitpunkt fehlt.

Die beachtliche Variabilität des N_{\min} besonders auf heterogenen Ackerschlägen ist seit der Einführung dieser Untersuchungen und ihrer Nutzung für die Präzisierung der ersten N-Düngung bekannt. Ursprüngliche Empfehlungen selbst für große Ackerschläge basieren auf Mittelwerten, die sich aus den einzelnen Werten der Probenahmeflächen ergaben. Bei der Festlegung der Teilflächen, die in der Regel zwischen 5 und 10 ha betragen sollten, steht einheitliche Bewirtschaftung als wesentliches Kriterium im Vordergrund.

Im Folgenden sollen Untersuchungen vorgestellt werden, welche die Beziehung zwischen Bodenheterogenität und dem N_{\min} klären sollen. Eine wichtige Frage dabei war, ob die Variabilität der N_{\min} -Werte zu Beginn der Vegetation durch die unterschiedliche Leitfähigkeit des Bodens weitestgehend wiedergegeben wird. Wenn das der Fall ist, lassen sich über entsprechende Leitfähigkeitskarten unter Berücksichtigung der Differenziertheit des N_{\min} , entsprechende Applikationskarten für eine teilschlagspezifische erste N-Gabe erstellen.

Erste Untersuchungen über die Variabilität des N_{\min} auf den Schlägen des LVG Köllitsch wurden in den Jahren 1998 bis 2000 durchgeführt. Ziel war es, zunächst das Ausmaß der Variabilität festzustellen. Für die Beprobung wurden die Flächen in gleichmäßige Raster zumeist in der Größe von einem Hektar aufgeteilt. Die Bodenprobenahme selbst erfolgte im Zentrum dieses Rasters. Grundlage für die Beprobungen in den Jahren 2005 bis 2007 bildeten die Karten der elektrischen Leitfähigkeit. Entsprechend der Spreizung der Werte erfolgte eine Klassenbildung. Für jede Leitfähigkeitsklasse wurden Probenahmeraster (10 x 10 m) festgelegt und beprobt.

3.3.1 Ergebnisse aus den Jahren 1998 bis 2000

Als hilfreich für die Bearbeitung der Fragestellung erwiesen sich Ergebnisse aus den Jahren 1998 und 2000, die unter diesem Gesichtspunkt noch nicht aufgearbeitet wurden. In diesem Zeitabschnitt wurde auf allen Flächen die Stickstoffdüngung noch nicht teilschlagspezifisch ausgebracht. Nach einheitlicher Düngung sollte der Einfluss des heterogenen Bodens besonders hervortreten. Von den insgesamt vorliegenden Ergebnissen werden einige ausgewählte typische Beispiele vorgestellt.

Eine intensive Beprobung erfolgte 1998 auf dem Schlag „Lämmergrund 1“. Dazu wurde der Schlag in gleichmäßige Raster von 0,5 ha aufgeteilt und beprobt. In Abbildung 21 sind die Leitfähigkeitskarte und die aus der Rasterbeprobung erstellte N_{\min} -Karte für den Schlag „Lämmergrund 1“ gegenübergestellt. Die Leitfähigkeit wurde auf diesem Schlag mit dem Veris 3100 gemessen. Es handelt sich hier um den tiefer greifenden Messwert „Veris deep“. Sichtbar wird, dass in den Schlagteilen mit hoher Leitfähigkeit auch die höchsten N_{\min} -Gehalte anzutreffen sind und umgekehrt. Durch Mittelwertbildung der in den jeweiligen Leitfähigkeitsklassen vorhandenen N_{\min} -Werte ergibt sich die

in der Abbildung 22 dargestellte Kurve. Die Differenzierung zwischen niedriger und den mittleren bis hohen Leitfähigkeitsklassen beträgt etwa 40 kg N_{min}/ha. Innerhalb der Klassen findet sich jedoch eine beachtliche Standardabweichung.

Nach einer mit 135 kg N/ha insgesamt verhaltenen N-Düngung zum Winterweizen zeigte sich letztlich nach der Ernte, dass mit zunehmenden N_{min} auch der Ertrag angestiegen war (Abb. 23). Nicht zu klären ist allerdings, ob bei dem niedrigen Ertragsniveau der Stickstoff Ursache für diese Differenzierung war, oder ob auf Grund des geringen Jahresniederschlages (423 mm) die Wasserreserven im Bereich hoher Leitfähigkeit dafür verantwortlich sind. Zwischen Leitfähigkeit und Ertrag besteht hier eine sehr enge Beziehung (Abb. 24). In Abbildung 25 ist die Ertragskarte dargestellt.

Parallel zur Bestimmung des N_{min} wurde aus den Bodenproben der Schicht 0 – 30 cm neben den verschiedenen Grundnährstoffen auch der Humusgehalt ermittelt. Die daraus erstellte Humuskarte (Abb. 26) weist ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit der Karte der elektrischen Leitfähigkeit auf. Der Korrelationskoeffizient ($r = 0,76$) weist einen engen linearen Zusammenhang aus. Das ist insofern bedeutsam, als sich die differenzierten N_{min}-Werte nicht nur aus dem unterschiedlichen Anfall an Sickerwasser, sondern auch aus der unterschiedlichen Mineralisation des organischen N-Pools ergeben können.

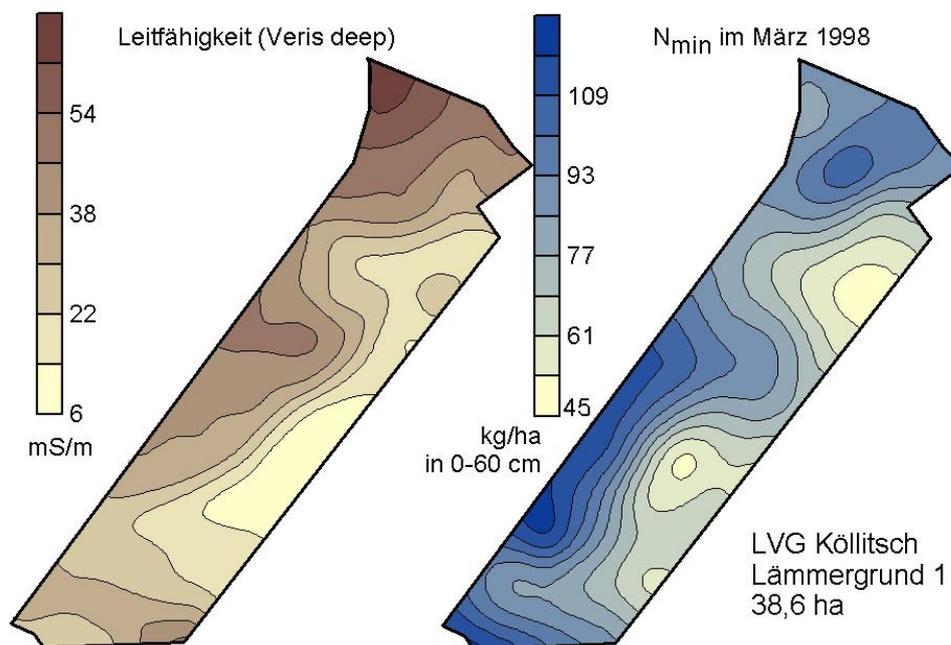


Abbildung 21: Karten der Leitfähigkeit und des N_{min} im Frühjahr 1998 vom Schlag „Lämmergrund 1“

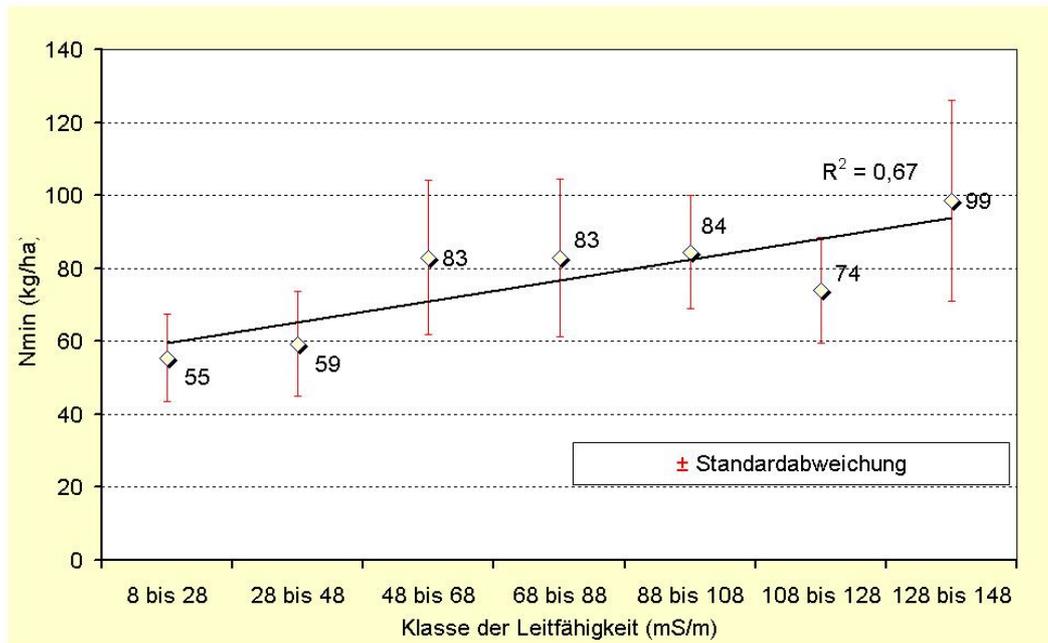


Abbildung 22: N_{min} in den Leitfähigkeitsklassen (Veris deep) im Frühjahr 1998 auf dem Schlag „Lämmergrund 1“

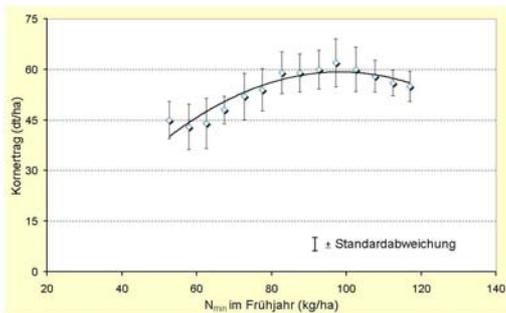


Abbildung 23: Beziehung zwischen dem N_{min} im Frühjahr und den in den dazugehörigen Rastern ermittelten Kornerträgen auf dem Schlag „Lämmergrund 1“

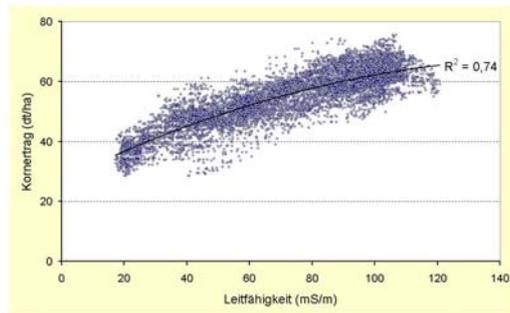


Abbildung 24: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und den in den dazugehörigen Rastern ermittelten Erträge des Winterweizens auf dem Schlag „Lämmergrund 1“

Die Verteilungsmuster des N_{min} können über die Jahre selbst bei unterschiedlichem N_{min}-Niveau relativ stabil bleiben (Abb. 27), wie die Ergebnisse vom Schlag „Rüstergehege“ zeigen. Voraussetzung ist in jedem Fall eine einheitliche Bewirtschaftung. Eine besondere Rolle kommt dabei sicher auch den Standortbedingungen zu, die sowohl von Bodenheterogenität als auch einem begrenzten Niederschlagsangebot, häufig deutlich weniger als 500 mm Jahresniederschlag, geprägt werden. In

den hohen Leitfähigkeitsklassen steigt der mittlere N_{\min} -Gehalt stetig an (Abb. 28). Damit verbunden war aber auch eine deutlich größere Streuung.

Für die Ertragsdifferenzierung (Abb. 29) beim angebauten Winterweizen (vgl. Abb. 20) war primär sicher nicht die Differenzierung des N_{\min} verantwortlich. Die negativen Ertragswirkungen sind in erster Linie ein Wasserproblem. Bei zu üppiger Jugendentwicklung mit entsprechender Bestockung fehlt häufig unter den Standortbedingungen in der Kornfüllphase das Wasser. Die Reaktion auf derartige Situationen kann nur eine zeitige Differenzierung des N-Angebots sein.

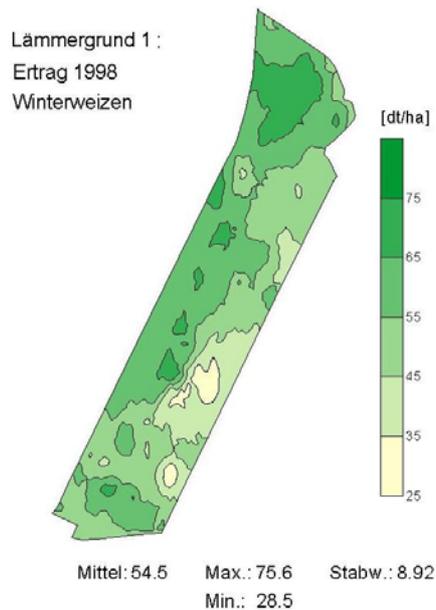


Abbildung 25: Ertragskarte 1998

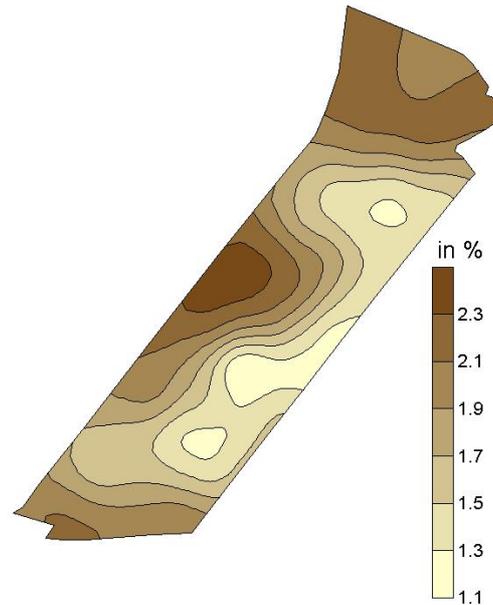


Abbildung 26: Karte vom Humusgehalt

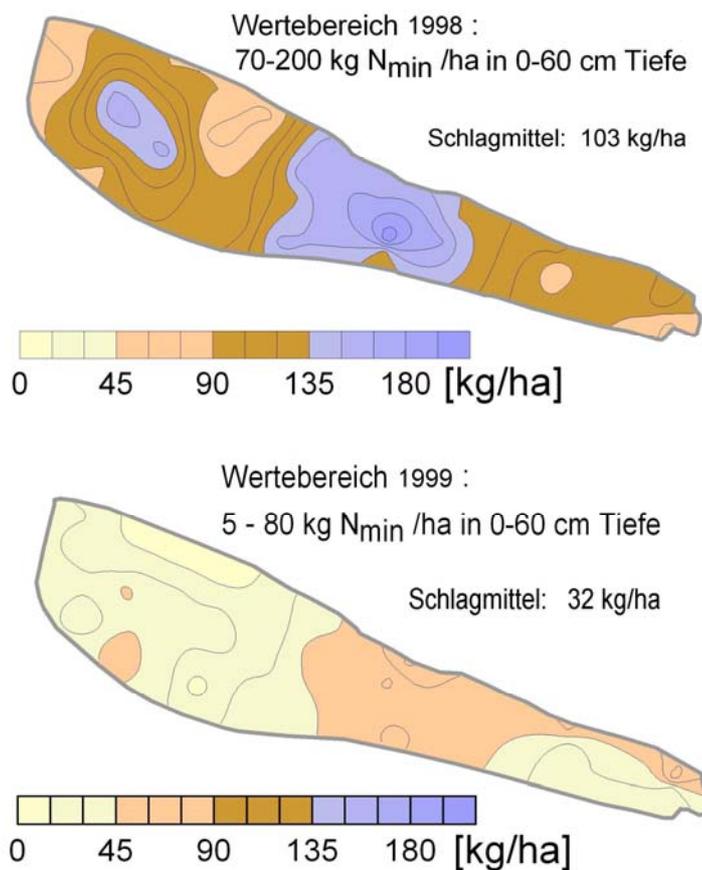


Abbildung 27: N_{\min} -Karten, Schlag „Rüstergehege“ in den Jahren 1998 und 1999

Die für den Schlag „Am Flugplatz“ aus den Jahren 1998 und 2000 vorliegenden Karten zum N_{\min} (Abb. 30) basieren auf einer Beprobung mit gleichmäßig über die Fläche verteilten Probenrastern (entspricht etwa einem ha) in dessen Zentrum eine repräsentative Bodenprobenahme erfolgte. Trotz der groben Beprobungsdichte weisen nach der Interpolation (Kriging) der Werte große Flächenanteile übereinstimmende Muster auf. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den aus der Boden- sowie Leitfähigkeitskarte bekannten Differenzierungen. Die Beziehung der gemessenen N_{\min} -Werte mit der im unmittelbaren Bereich der Probenahme ermittelten Leitfähigkeit (Abb. 31) weist auch hier einen engen linearen Zusammenhang auf. Eine Klassifizierung der Leitfähigkeit und der in diesen Bereichen gemessenen N_{\min} -Werten weist auf gerichtete Unterschiede hin. Während bei niedriger Leitfähigkeit, nach der Reichsbodenschätzung handelt es sich hier um lehmigen Sand, gerade einmal 60 kg N_{\min} /ha ermittelt wurden, finden sich im Bereich der hohen Leitfähigkeitsklasse, ausgewiesen als toniger Lehm, mehr als 150 kg N_{\min} /ha.

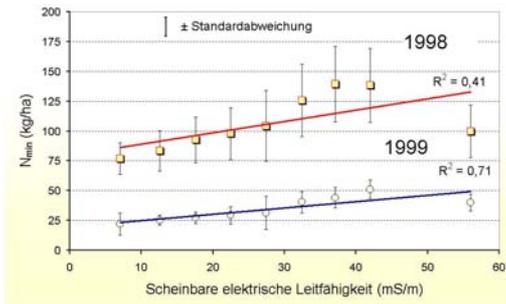


Abbildung 28: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem N_{\min} im Frühjahr der Jahre 1998 und 1999

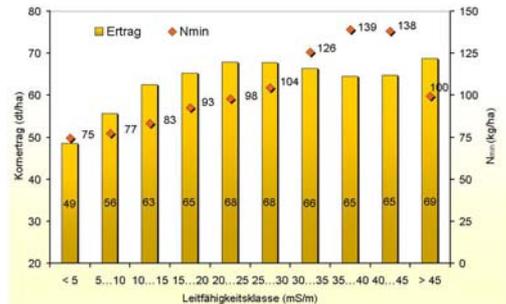


Abbildung 29: N_{\min} zu Vegetationsbeginn in den Leitfähigkeitsklassen und der erzielte Weizenertrag auf dem Schlag „Rüstergehege“ 1998

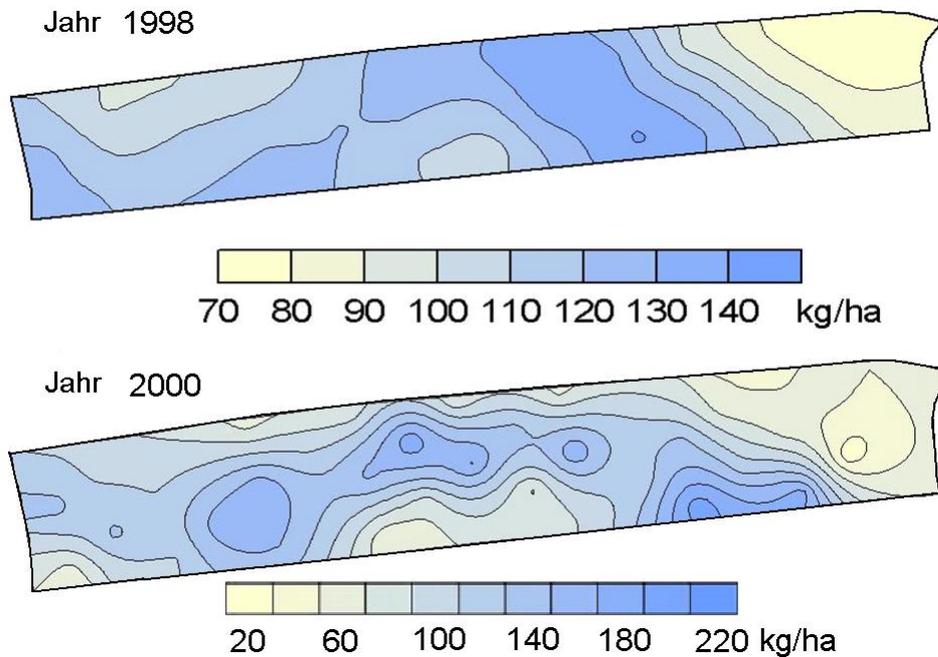


Abbildung 30: Verteilung des N_{\min} auf dem Schlag „Am Flugplatz“ zu Beginn der Vegetation in den Jahren 1998 und 2000

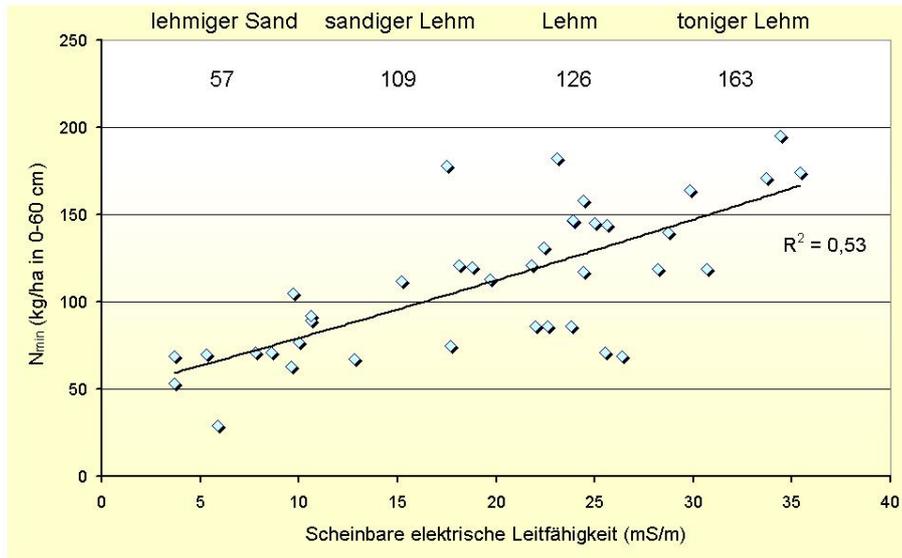


Abbildung 31: N_{\min} in 0 – 60 cm in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit zum Vegetationsbeginn 2000 auf dem Schlag „Am Flugplatz“

3.3.2 Ergebnisse aus den Jahren 2005 bis 2007

Am intensivsten wurde bisher der Schlag „Am Flugplatz“ untersucht. Mit seiner ausgeprägten Heterogenität (vgl. 3.1) sind hier auch regelmäßig die stärksten Effekte zu erwarten. Hingewiesen werden soll an dieser Stelle auch darauf, dass zwischen dem Bodenwasser und der elektrischen Leitfähigkeit eine enge Beziehung besteht.

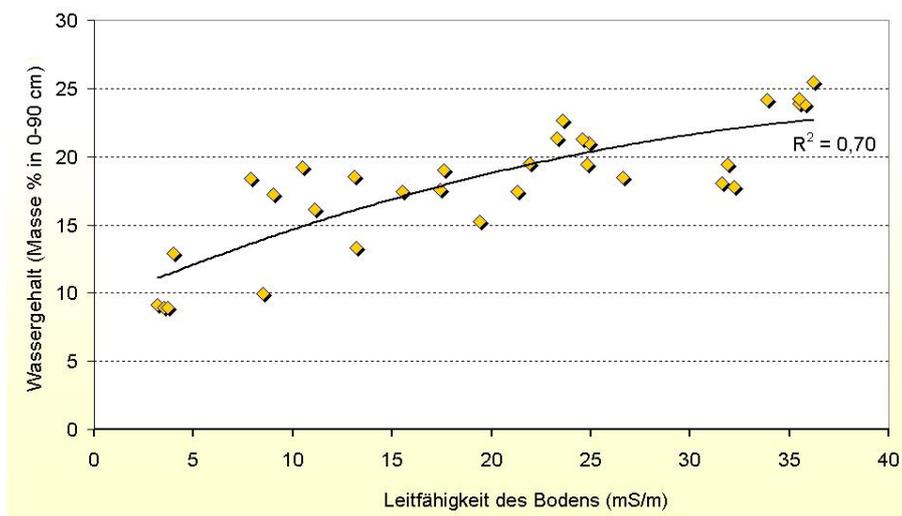


Abbildung 32: Beziehung zwischen dem Wassergehalt des Bodens zu Vegetationsbeginn 2006 und der Leitfähigkeit auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Das macht die Abbildung 32 in besonderer Anschaulichkeit deutlich. Die hier angeführten Wassergehalte stammen aus der N_{\min} -Beprobung zu Beginn der Vegetation 2006 und dürften annähernd der Feldkapazität des Bodens im Mittel der Probenahmetiefe von 0 – 90 cm entsprechen. Die Messwerte verdeutlichen, dass im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit wesentlich weniger Winter-niederschläge notwendig sind, um das Wasserspeichervermögen aufzufüllen. Die Folge ist eine höhere Menge an Sickerwasser und damit eine zeitigere und wesentlich intensivere Nitrat-auswaschung. Auf den Schlagteilen mit hoher Leitfähigkeit wird mehr als die doppelte Niederschlagsmenge als auf dem nur wenige 100 m entfernten lehmigen Sand benötigt, um die Feldkapazität zu erreichen. Die im langjährigen Mittel auf diesem Standort zu erwartende Niederschlagsmenge reicht dann allerdings gerade aus, um das Wasserspeichervermögen im Wurzelraum, der sich etwa bis in eine Tiefe von 150 cm erstreckt, aufzufüllen.

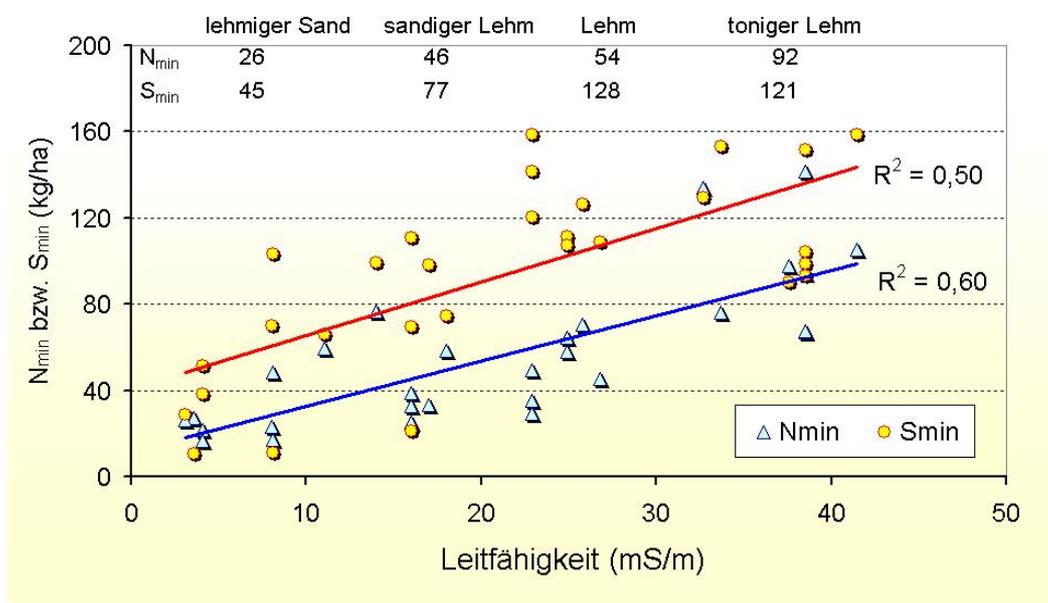


Abbildung 33: N_{\min} und S_{\min} zu Beginn der Vegetation 2006 auf dem Schlag „Am Flugplatz“

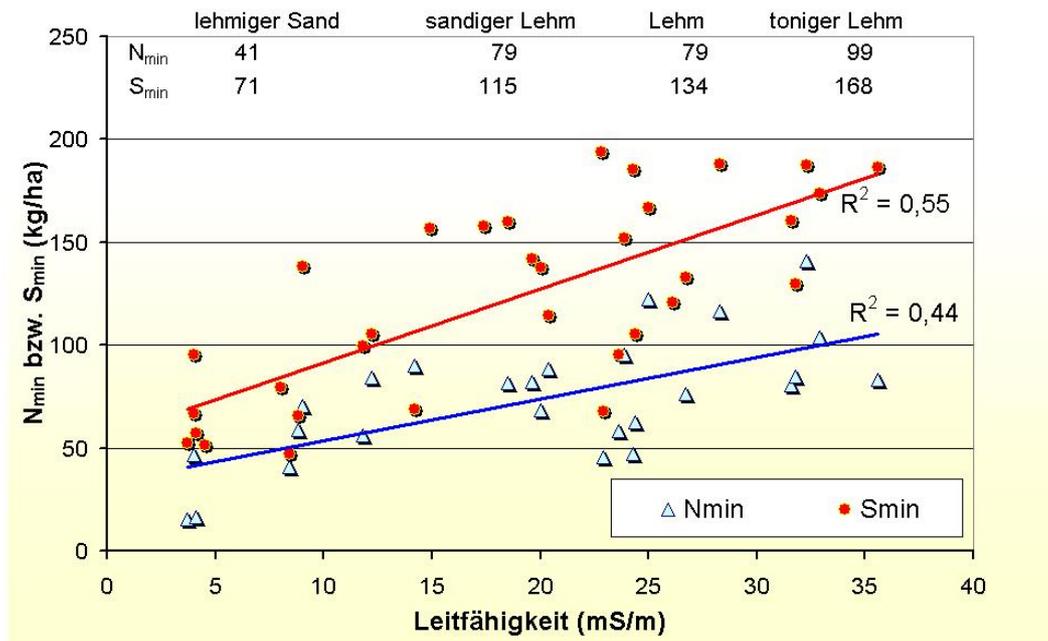


Abbildung 34: N_{min} und S_{min} zu Beginn der Vegetation 2007 auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Die zu Vegetationsbeginn in den Jahren 2006 und 2007 ermittelten N_{min} -Werte (Abb. 33 und 34) weisen jeweils gerichtete Differenzierungen auf. Die Streuung der Einzelwerte aus den verschiedenen Probenahmerastern mit annähernd gleicher Leitfähigkeit ist allerdings zum Teil beachtlich. Sie erklärt sich unter anderem aus der Tatsache, dass jeweils vor der Saatbeetbereitung des angebauten Wintertraps bzw. Winterweizens Gülle zum Einsatz kam und sich die Pflanzenbestände im Herbst innerhalb des Schlages sehr differenziert entwickelt haben.

Eine Gegenüberstellung der Jahre (Abb. 35) zeigt den parallelen Verlauf der linearen Trendkurven. Unterschiedlich sind das N_{min} -Niveau und die Streuung der Einzelwerte. Hingewiesen werden soll an dieser Stelle auch darauf, dass die Korrelationskoeffizienten zwischen Leitfähigkeit und N_{min} vor Winter immer wesentlich kleiner waren als im Frühjahr.

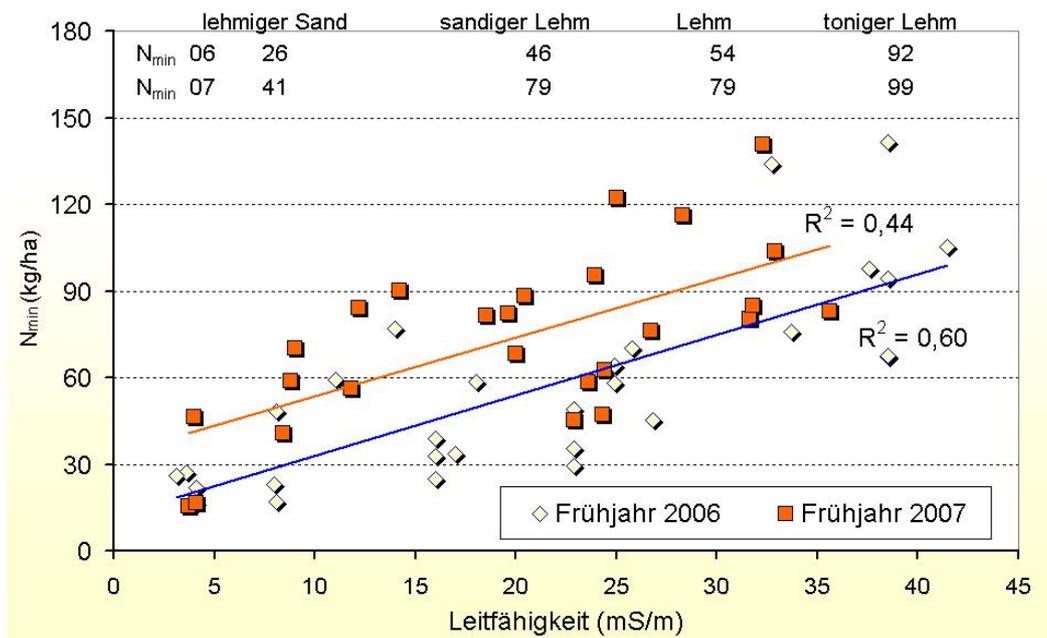


Abbildung 35: N_{min} -Frühjahrswerte in den Jahren 2006 und 2007 auf dem Schlag „Am Flugplatz“

In den N_{min} -Bodenproben wurde jeweils der S_{min} -Gehalt mitbestimmt. Die ermittelten Beträge (Abb. 33 und 34) überraschen insofern, weil auf diesem Schlag bisher keine mineralische Schwefeldüngung verabfolgt wurde. Die Nachlieferung aus dem Boden und die Mineralisation aus der regelmäßigen organischen Düngung führen im Mittel des Schlages zu einer sehr guten Schwefelversorgung. Wie beim N_{min} findet sich auch beim S_{min} eine deutliche Differenzierung in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit. Anders als beim N_{min} , der sich nach der Ernte 2006 auf einem niedrigen Niveau befand (Abb. 36) nahmen die S_{min} -Werte im Mittel sogar leicht zu.

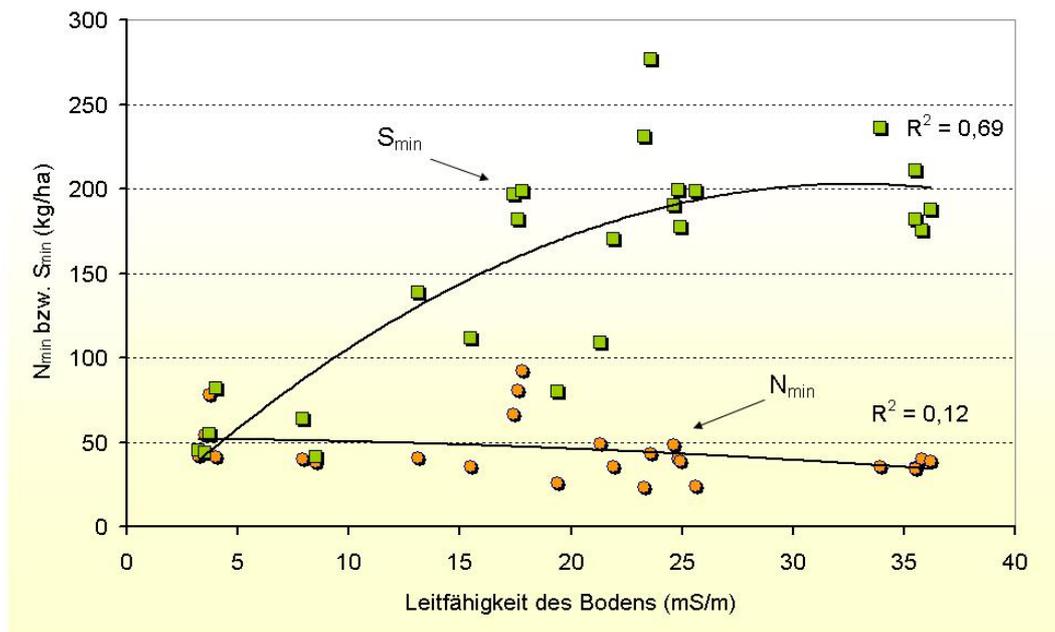


Abbildung 36: N_{\min} und S_{\min} in 0 – 90 cm Bodentiefe nach der Ernte 2006 auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Zwar ist die Bodenheterogenität auf anderen Schlägen nicht so stark ausgeprägt wie auf dem Schlag „Am Flugplatz“, es zeigen sich jedoch deutliche Parallelen zu den bisher vorgestellten Ergebnissen. Beispielhaft soll hier der Schlag 121.4 angeführt werden (Abb. 37). Auffallend ist wiederum das höhere Bestimmtheitsmaß beim S_{\min} . Vermutlich wird das Sulfat weniger von den im Boden ablaufenden Prozessen wie Mineralisation bzw. Immobilisation durch Mikroorganismen sowie durch die Aufnahme der Pflanzen beeinflusst.

Ein Vergleich der N_{\min} -Werte (Abb. 38) vor und nach dem Winter 2007 lässt deutliche Veränderungen erkennen. Bereits im Herbst lagen gerichtete Unterschiede vor. Über Winter war zu beobachten, dass die N_{\min} -Werte deutlich abnahmen. Im Mittel (Abb. 39) handelte es sich um einen Betrag von rund 70 kg/ha und betraf alle Leitfähigkeitsklassen gleichermaßen. Weil der S_{\min} (Abb. 40) von Dezember bis März eine leichte Zunahme erkennen lässt, kommen Verlagerungsprozesse nicht in Betracht. Weil es im milden Winter 2006/2007 zu keiner richtigen Vegetationsruhe kam, lässt sich diese Abnahme nur durch das Wachstum und die weitere N-Aufnahme der angebauten Wintergerste erklären. Weil die mikrobielle Aktivität kaum durch die herrschenden Bodentemperaturen unterbunden wurde, sind allerdings Immobilisationsprozesse durch den Abbau der stickstoffarmen Erntesterne der Weizenvorfrucht nicht auszuschließen.

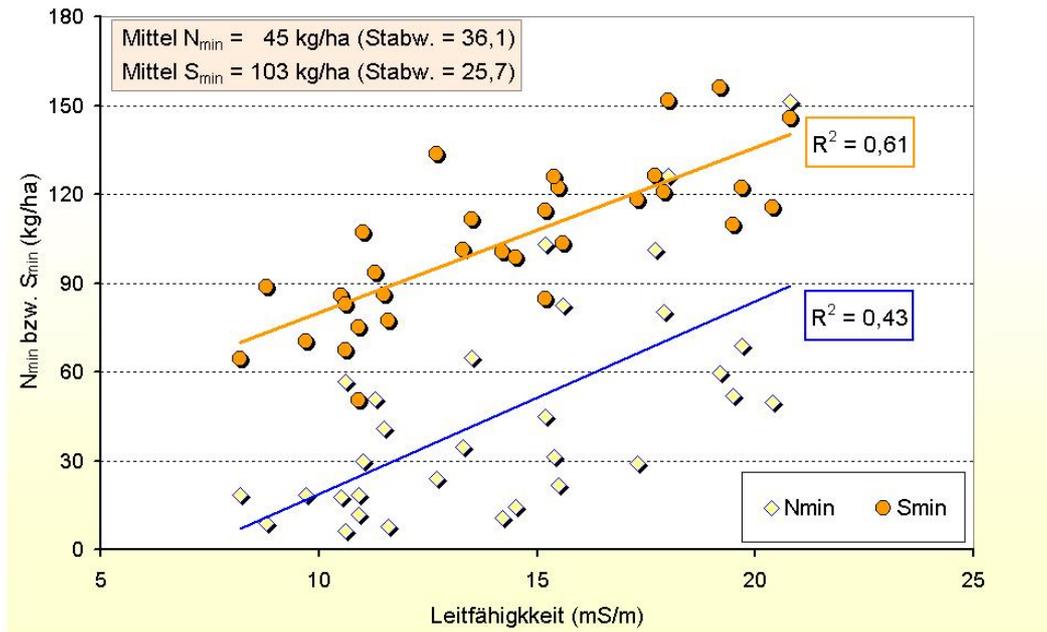


Abbildung 37: N_{\min} - und S_{\min} -Gehalte in 0 – 90 cm zu Beginn der Vegetation 2007 in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit auf dem Schlag „121.4“

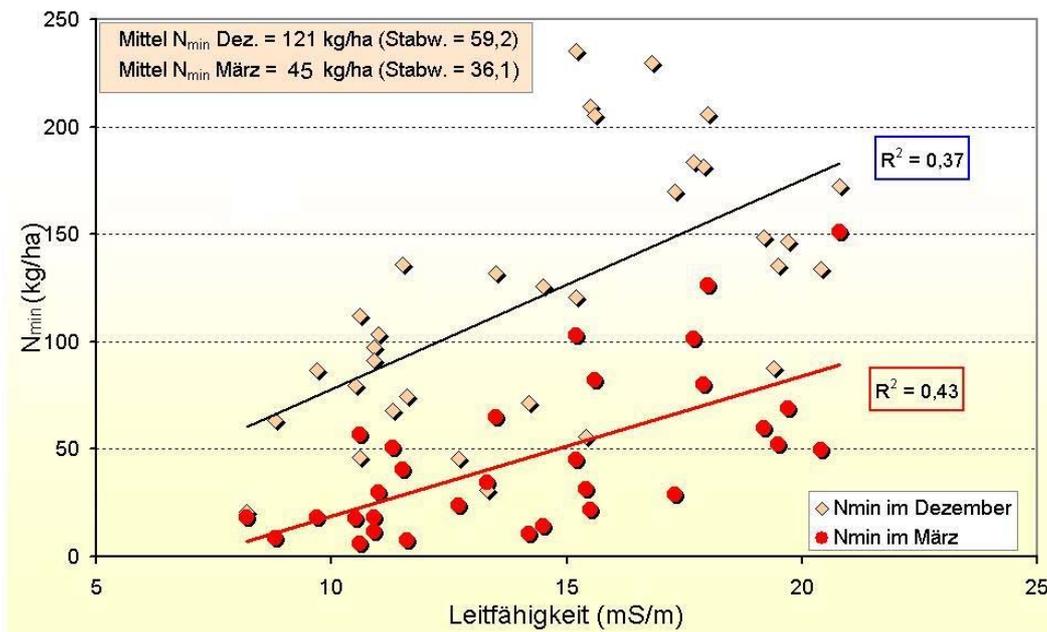


Abbildung 38: N_{\min} in 0 – 90 cm vor und nach dem Winter 2007 in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit zum Vegetationsbeginn auf dem Schlag „121.4“

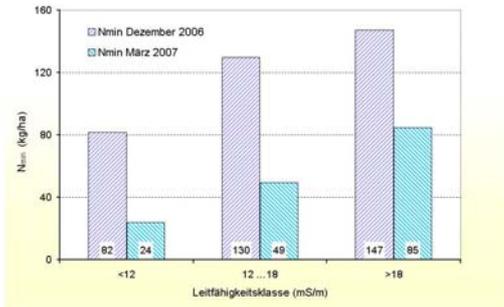


Abbildung 39: Veränderung im N_{min}-Gehalt des Bodens über Winter in Abhängigkeit von den Leitfähigkeitsklassen

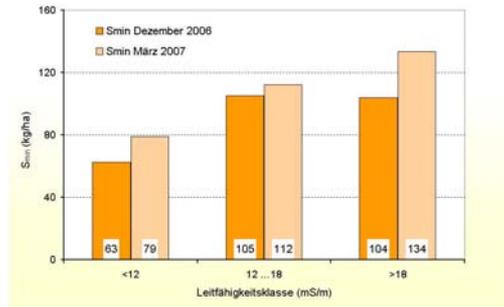


Abbildung 40: Veränderung im S_{min}-Gehalt des Bodens über Winter in Abhängigkeit von den Leitfähigkeitsklassen

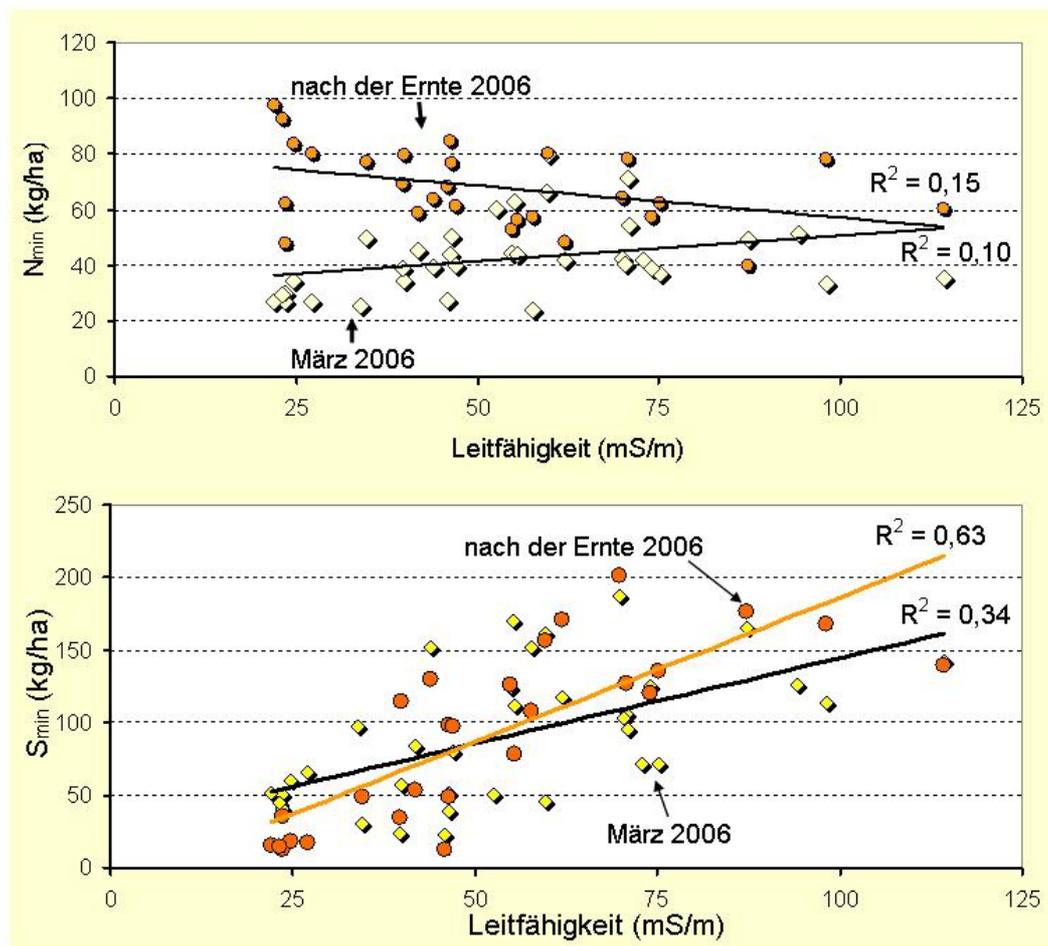


Abbildung 41: N_{min}- und S_{min}-Gehalte in 0 – 90 cm Tiefe unter Winterrapss zu Beginn der Vegetation und nach der Ernte 2006 auf dem Schlag „TOM“

Findet bereits im Herbst ein intensives Pflanzenwachstum mit hoher N-Aufnahme statt, sind die N_{\min} -Werte im Frühjahr zumeist niedrig. So auf dem Schlag „TOM“, wo Winterraps im Spätsommer 2005 angebaut wurde. Im März 2006 lag hier der N_{\min} -Gehalt (Abb. 41) im Mittel bei 32 kg/ha in 0 - 90 cm. Es gab keine gerichteten Unterschiede. Nach der Ernte zeigte sich bei einem insgesamt höheren Niveau (im Mittel 72 kg/ha), dass vor allem im Bereich mit niedriger Leitfähigkeit ein höherer Betrag an Reststickstoff verblieben war. Es findet sich eine gute Übereinstimmung mit den Erträgen in den Probenahmerastern. Für das Sulfat ergab sich in dieser Zeit (Abb. 41, unten) im Schlagmittel (91 kg/ha) keine Veränderung. Der Korrelationskoeffizienten zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem S_{\min} wird jedoch deutlich enger ($r = 0,79$).

Dass gerichtete Unterschiede im N_{\min} bereits vor dem Winter vorkommen, soll am Beispiel eines Schlags aus der ökologischen Fruchtfolge gezeigt werden (Abb. 42). Bei insgesamt hohen N_{\min} -Beträgen ergab sich im Mittel eine Differenz von rund 70 kg/ha zwischen den niedrigsten und den höchsten Leitfähigkeitsklassen. Weil es sich hierbei in jedem Fall nicht um Reststickstoff aus der N-Düngung handelt, kommt vorwiegend die Freisetzung des durch die Knöllchenbakterien der Erbsen gesammelten Stickstoff und die Mineralisation anderer organischer Bodensubstanz in Frage. Interessant wäre, ob eine Beziehung zum Korntrag besteht. Leider lassen sich dazu keine Aussagen treffen, weil bei der Ernte der Erbse das Ertragsmesssystem des eingesetzten Mähdeschers ausgefallen war.

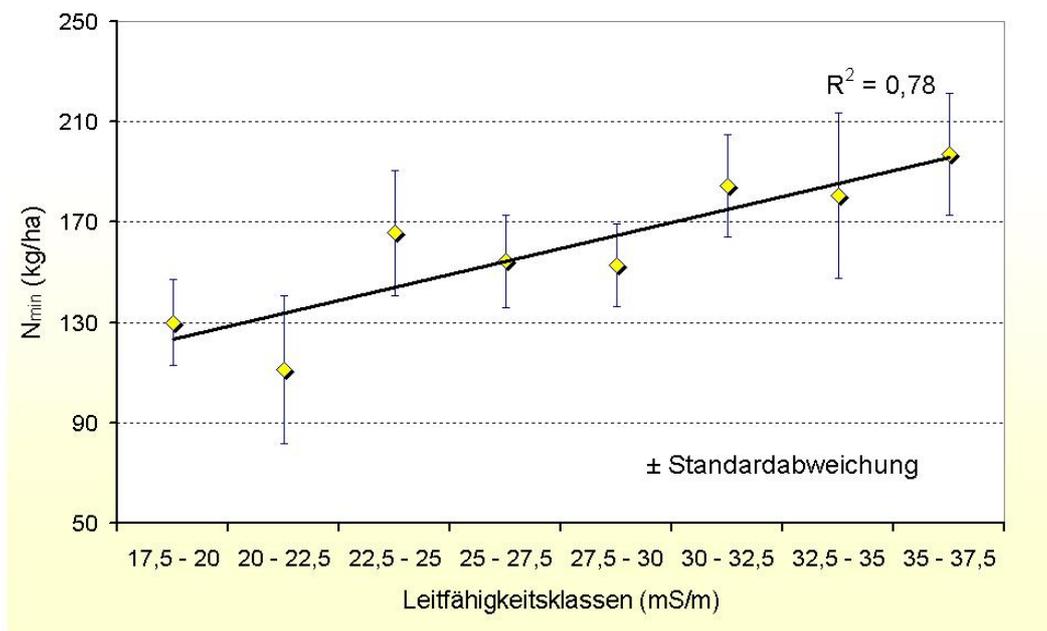


Abbildung 42: N_{\min} zum Ende der Vegetation 2005 nach Erbsen in der ökologischen Fruchtfolge

3.3.3 Fazit

Eine teilschlagspezifische Bewirtschaftung kann zur Senkung von N-Verlusten beitragen. Unter trockenen Bedingungen stoßen die heute für die differenzierte Stickstoffdüngung eingesetzten Sensoren an ihre Grenzen. Zum einen, weil sie frühestens zur zweiten N-Gabe eingesetzt werden und bis dahin die Bestandesetablierung weit fortgeschritten ist, zum anderen weil bei Trockenheit oft ein Bedarf angezeigt wird, der so nicht vorhanden ist. Bei der Entscheidungsfindung müssen hier stärker die Differenziertheit des Bodens und das Ertragspotenzial der Teilflächen eingreifen.

Bisher weitgehend außer Acht gelassen wurde die beachtliche Variabilität der N_{\min} -Gehalte unter heterogenen Bodenbedingungen. Unter den trockenen Bedingungen ist zu beobachten, dass die Winterniederschläge häufig gerade ausreichen, um auf ton- und schluffreichen Böden die Feldkapazität annähernd aufzufüllen, während auf den sandigeren Böden bereits Sickerwasser anfällt. Auf heterogenen Ackerschlägen findet sich beides oft eng nebeneinander. Das hat deutliche Auswirkungen auf den Sickerwasseranfall und den Nitrataustrag. Selbst bei ausgeglichenen N-Schlagbilanzen kann es dann zu punktuellen Nitratausträgen kommen.

Die beachtliche räumliche Variabilität des N_{\min} ist eine lang bekannte Tatsache und die Frage der Repräsentativität der Ergebnisse ist durchaus umstritten (GIEBEL u. a., 2006). In welcher Abhängigkeit die jeweiligen N_{\min} -Gehalte zu den Bodenunterschieden stehen, wurde bisher kaum untersucht. Relativ enge Beziehungen zwischen der Bodenheterogenität und den zu Vegetationsbeginn vorhandenen N_{\min} -Unterschieden bieten die Möglichkeit mit einer differenzierten Stickstoffdüngung wesentlich früher einzugreifen. Über Boden- oder Leitfähigkeitskarten ließen sich einfache Stickstoffapplikationskarten in Vorbereitung für die erste N-Gabe erstellen.

Die Untersuchungen zur Variabilität des N_{\min} haben gezeigt, dass unter den vorliegenden Standortbedingungen zu Vegetationsbeginn vielfach enge Beziehungen zur Leitfähigkeit des Bodens bestehen. Nach der Ernte ist das zumeist nicht mehr der Fall. In die Auswertung waren insgesamt fünf Versuchsjahre mit umfangreichen Probenahmen einbezogen. Das erlaubt gut gesicherte Aussagen.

Für praktische Bedingungen ist der hier betriebene Probenahme- und Untersuchungsaufwand sicher zu hoch. Durch gezielte Probenahme, ausgerichtet auf die Schlagheterogenität, lassen sich bessere Informationen zur N_{\min} -Situation auf den Ackerschlägen gewinnen.

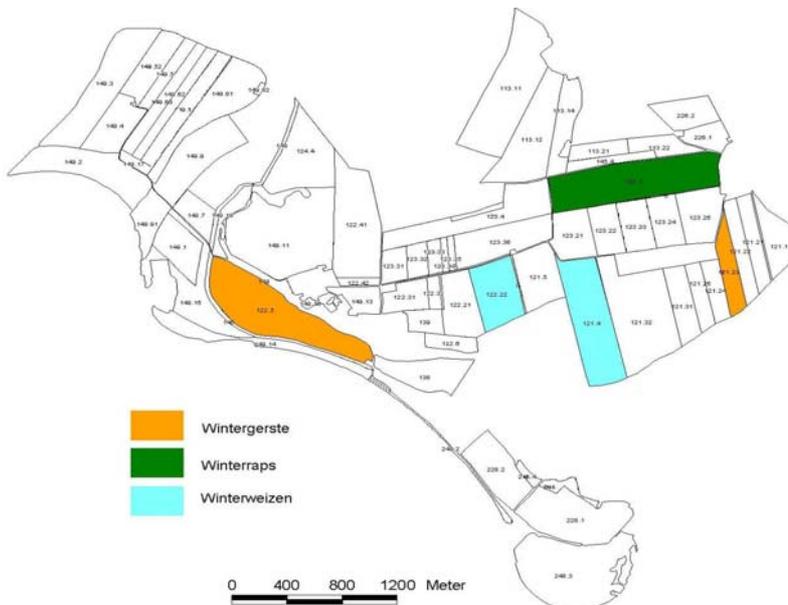
Stärker als beim N_{\min} ist die Beziehung zwischen S_{\min} und der Leitfähigkeit des Bodens. Hier ergaben sich die geringsten Veränderungen im Verlauf des Vegetationsjahres. Auf den Schlägen des LVG Köllitsch gab es zu Beginn der Vegetation eine enge Beziehung zwischen N_{\min} und S_{\min} .

3.4 Erprobung einer teilschlagspezifischen N-Düngung unter Berücksichtigung der Variabilität des N_{\min}

Die in Abhängigkeit von der Bodenheterogenität zum Teil beachtlichen Unterschiede im N_{\min} wurden im Frühjahr 2006 genutzt, um Strategien einer teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung auszuprobieren. Ziel war es, zu Beginn der Vegetation bereits zur ersten Gabe eine Differenzierung vorzunehmen. Vorgestellt werden hier einjährige Untersuchungen. Die Versuchsergebnisse sind stark durch die herrschende Jahreswitterung geprägt. Verallgemeinerungen sind deshalb nur bedingt möglich. Sie bieten aber einen Ansatzpunkt für einen effizienteren und umweltgerechten N-Einsatz unter trockenen, heterogenen Standortbedingungen.

3.4.1 Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten im Frühjahr 2006 auf je zwei Wintergerste- und Winterweizenschlägen sowie einem Winterrapsschlag (Abb. 43). Die wichtigsten pflanzenbaulichen und agrotechnischen Daten werden bei der Vorstellung der jeweiligen Schlägergebnisse vorangestellt.



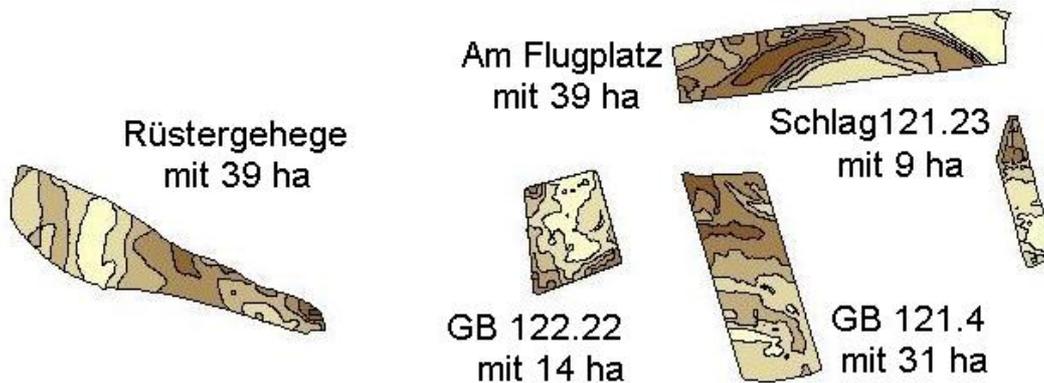


Abbildung 44: Leitfähigkeitskarten der Versuchsschläge und der Schlaggröße

In der Elbaue gelegen, sind die Böden vorwiegend aus lehmigen und schluffigen Auensedimenten entstanden. Die Hauptbodenart ist als Auenlehm anzusprechen. Auf Teilflächen findet sich jedoch vom lehmigen Sand bis tonigem Lehm ein breites Bodenartenspektrum (vgl. 3.1). Weil die Leitfähigkeit stark durch die Textur des Bodens geprägt wird, geben die Bodenleitfähigkeitskarten (Abb. 44) aus den Messungen mit dem EM 38 einen guten Überblick. Erfasst wurden die einzelnen Schläge unter abweichenden äußeren Bedingungen (Jahreszeit, Wassergehalt, Bewuchs usw.). Deshalb sind die Karten bedingt geeignet, einen Vergleich im Hinblick auf die Heterogenität zwischen den Schlägen vorzunehmen.

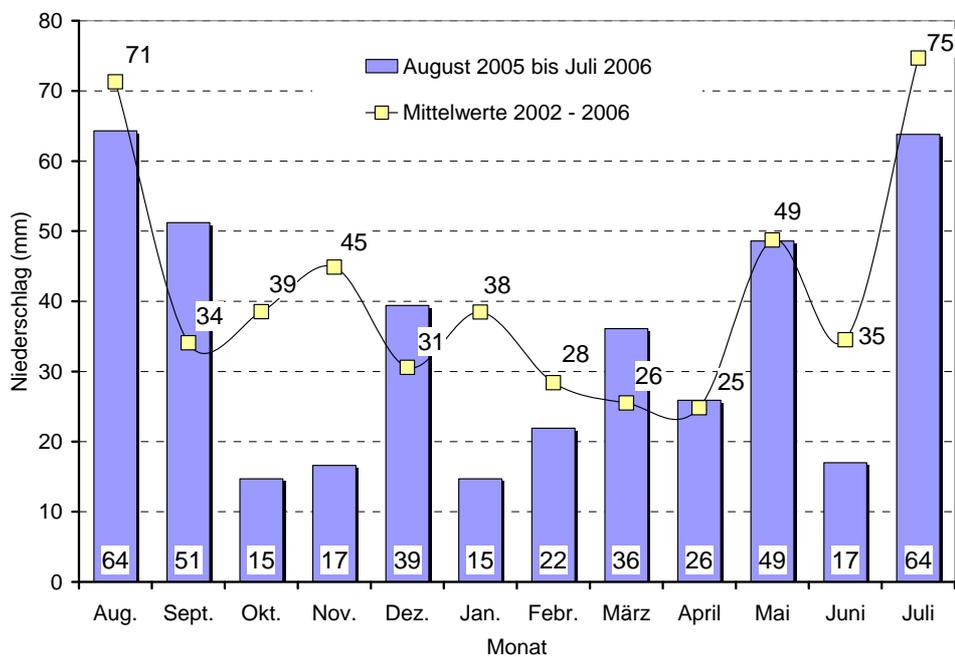


Abbildung 45: Niederschlagsverteilung in der Vegetationszeit der Winterungen 2005/2006

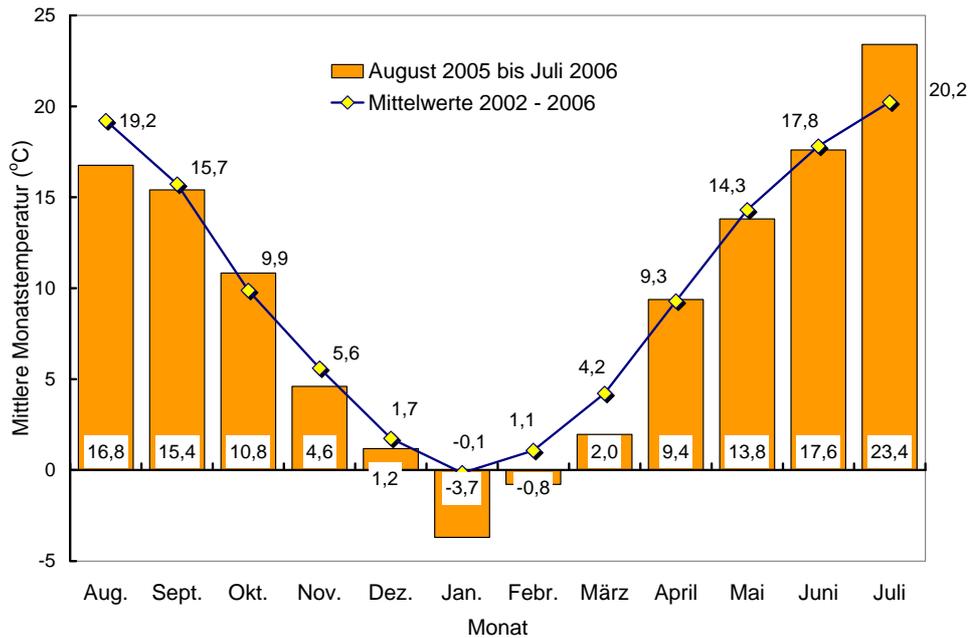


Abbildung 46: Temperaturverlauf in der Vegetationszeit der Winterungen 2005/2006

Die Niederschlagsverhältnisse im LVG Köllitsch entsprechen denen des weiter westlich gelegenen, großen mitteldeutschen Trockengebietes. Kennzeichnend sind häufige und längere Vorsommertrockenperioden. Besonders betroffen ist also der für die Ertragsbildung der Winterungen wichtige Entwicklungsabschnitt. Im Mittel der letzten fünf Jahre (gerechnet wurde jeweils von August bis Juli des Folgejahres) fielen lediglich 496 mm Niederschlag. Im Untersuchungszeitraum von August 2005 bis Juli 2006 waren es sogar nur 415 mm (Abb. 45). Im Hinblick auf die Temperaturen gab es im Winterhalbjahr deutliche Abweichungen (Abb. 46). Das führte zu einer langen Vegetationsruhe mit spätem Vegetationsbeginn.

3.4.2 Winterraps auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Einen Überblick zu den wichtigsten Anbaudaten findet sich in Tabelle 2. Die N_{\min} -Gehalte ausgangs des Winters ließen eine große Variabilität innerhalb des Schlages erkennen. Eine Zuordnung der ermittelten N_{\min} -Werte zu der Leitfähigkeit in den Probenahmerastern lässt eine deutliche Beziehung zwischen diesen beiden Größen erkennen (Abb. 47).

Deshalb wurden zur ersten N-Gabe neben einem konstant einheitlichen Prüfglied mit 90 kg N/ha zwei variable Düngungsvarianten geprüft. Grundlage für die Differenzierung war die Leitfähigkeitskarte (Abb. 4). Gewählt wurden fünf Stufen. Dazu wurde das Messwertespektrum im gleichmäßigen Intervall auf fünf Klassen aufgeteilt und die für die jeweiligen Teilflächen vorgesehene N-Menge zugeordnet. Die daraus entstandene Applikationskarte ist in der Abbildung 48 dargestellt. Mit Hilfe

des Satelliten gestützten Ortungssystems (GPS) wurde der im Bordcomputer hinterlegte Streuplan realisiert.

Tabelle 2: Anbaudaten zum Winterraps auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Maßnahme	Anbaudaten
Sorte	Express
Vorfrucht	Wintergerste
Saatbeetbereitung	22. - 27.8.2005/Pflug mit Nachläufer
Aussaattermin/Saatstärke	22. - 27.8.2005/60 Körner/m ²
Organische Düngung	August 2005 mit 30 m ³ Gülle/ha
1. N-Gabe	30.03.2006
2. N-Gabe	04.05.2006
Pflanzenschutz	29.8.2005 (½ Fläche) 2,5 l/ha Brasan
	1.9.2005 (½ Fläche) 2,0 l/ha Butisan top
	2.9.2005 Schneckenkorn am Rand 4,0 kg/ha
	5.10.2005 0,8 l/ha Folicur
	18.4.2006 75 ml/ha Karate zeon
	9.5.2006 150 g/ha Trafo WG
Ernte	18./19.07.2006

Während im Prüfglied „variabel 1“ mit zunehmender Leitfähigkeit (Klasse) auch die N-Menge gesteigert wurde, erfolgte die Bemessung der Stickstoffmenge im Prüfglied „variabel 2“ genau entgegengesetzt. Ausgangspunkt für diese unterschiedliche Vorgehensweise war im ersten Fall, dass im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit zwar die niedrigsten N_{\min} -Werte vorlagen (Abb. 47), die Erträge jedoch in den durch Ertragskartierung dokumentierten Jahren (vgl. 3.2) immer deutlich unter dem mittleren Schlagsertrag lagen. Im zweiten variablen Prüfglied wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass für die Realisierung eines einheitlichen Ertragsniveaus bei unterschiedlichen N_{\min} -Ausgangsgehalten ein entsprechender Ausgleich erfolgen muss. Die Applikationskarte und die Höhe der ersten N-Gabe in den jeweiligen Prüfgliedern finden sich in Abbildung 48.

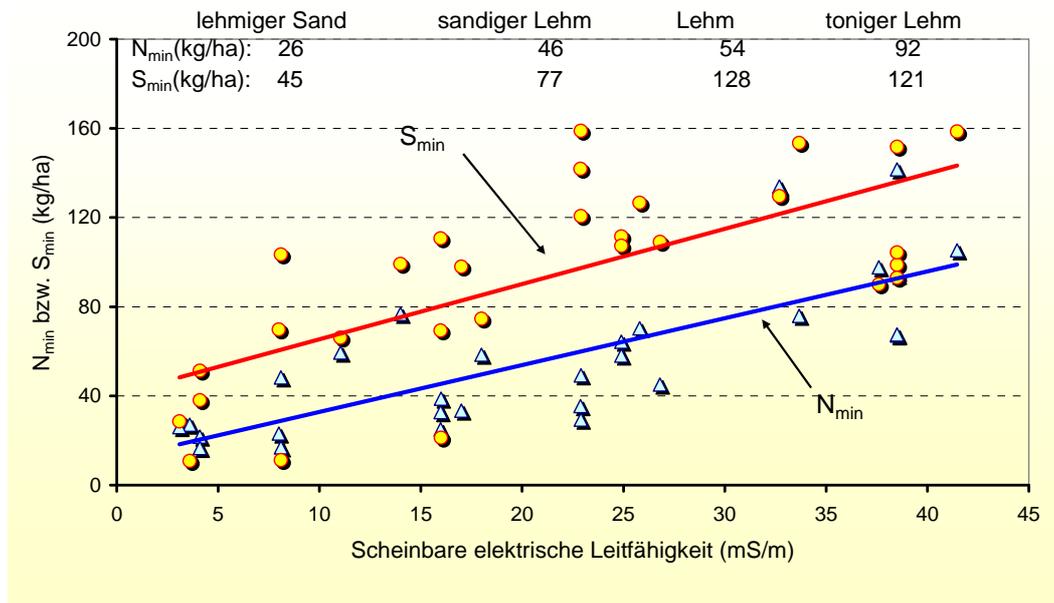


Abbildung 47: N_{min} und S_{min} in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens vor dem Vegetationsbeginn 2006 auf dem Schlag „Am Flugplatz“

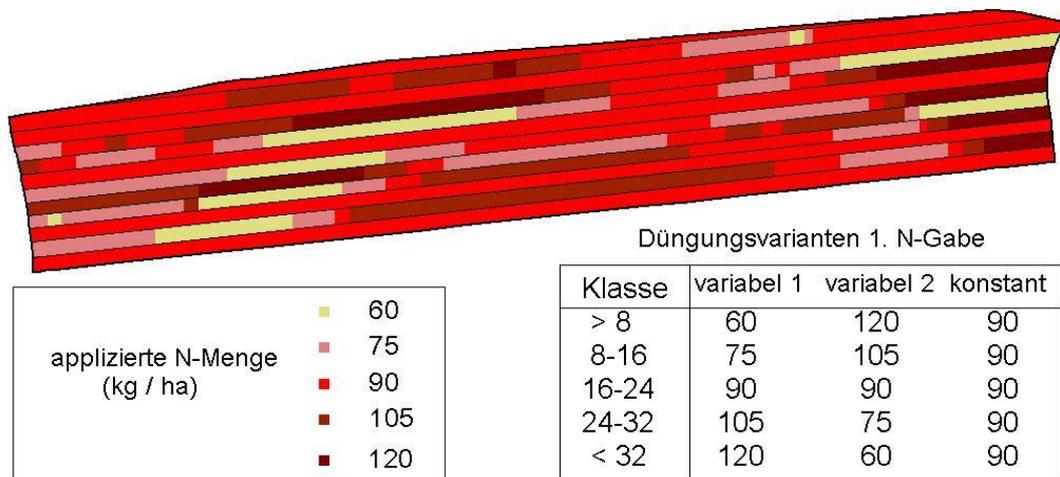


Abbildung 48: Applikationskarte für den Schlag „Am Flugplatz“ zur 1. N-Gabe zu Winter-raps

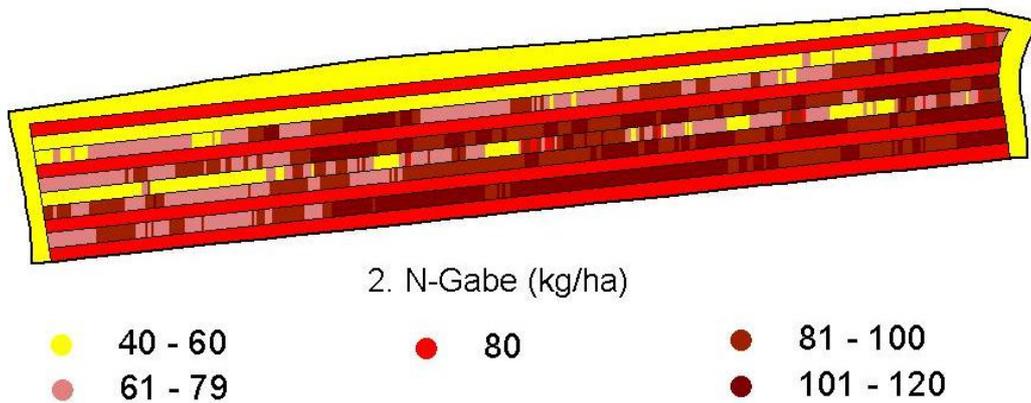


Abbildung 49: Verteilung der zur 2. N-Gabe ausgebrachten N-Menge zum Winterraps auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Für die zweite N-Gabe kam bei den variablen Prüfgliedern zur differenzierten Stickstoffdüngung der Yara-N-Sensor zum Einsatz. Nach entsprechender Kalibrierung wurde die für das Entwicklungsstadium vorliegende Regelfunktion genutzt. Als untere Grenze wurden 40 kg N/ha und als obere 120 kg N/ha vorgegeben. Im Prüfglied mit einheitlicher Stickstoffdüngung wurden 80 kg N/ha ausgebracht. Als N-Dünger kam jeweils KAS zum Einsatz. In Abbildung 49 sind die in den jeweiligen Schlagteilen ausgebrachten N-Mengen dargestellt.

Der Kornertag wurde hier, wie auch auf den später vorzustellenden Schlägen, durch den Einsatz von Mähdeschern mit Ertragsmesssystem ermittelt. Angaben zur Erstellung der Ertragskarten finden sich unter Gliederungspunkt 3.2. Der enge Zusammenhang von Bodenleitfähigkeit zum Kornertag ist in Abbildung 50 dargestellt. Sichtbar wird aber auch die zum Teil beachtliche Streuung der Einzelwerte, die aus der Heterogenität des Pflanzenbestandes herrührt.

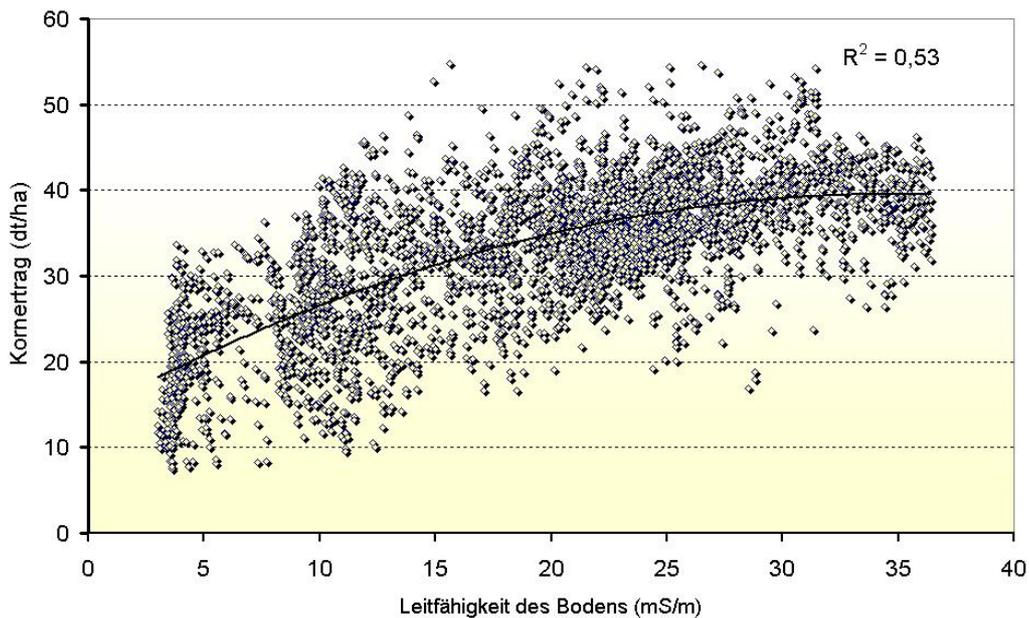


Abbildung 50: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem ermittelten Korntrag des Wintertrapses auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Trotz der unterschiedlichen Stickstoffdüngung zeigt die Ertragskarte (Abb. 51) die für diesen Schlag typische Verteilung der Erträge (vgl. 3.2). Erstellt wurde die Karte unabhängig von den jeweiligen Prüfgliedern durch Interpolation der Einzelwerte mittels Kriging für eine Rastergröße von 5 x 5 m.

Weil es beim Einsatz des für die Düngung verwendeten Schleuderstreuers zu deutlichen Überlappungen von benachbarten Flächen kam, wurde für die Ertragsauswertung der Prüfglieder nur die Kernmähdrescherspur jedes Prüfgebietes herangezogen. Es zeigte sich, dass im vorliegenden Versuchsjahr im Mittel der drei Prüfglieder ein einheitliches Ertragsniveau erzielt wurde (Abb. 52). Wie bereits für den Gesamtertrag des Schlages gezeigt (Abb. 50), ergab sich auch hier in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit ein deutlicher Ertragsanstieg. Bemerkenswert ist, dass in den hohen Leitfähigkeitsklassen die Standardabweichung abnimmt. Die größten und auch statistisch gesicherten Unterschiede traten im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit auf (Tab. 3). Hier deutet sich zumindest an, dass selbst bei der spät einsetzenden Vegetation im Frühjahr 2006 und den niedrigeren N_{\min} -Werten eine verhaltene Andüngung ausreichte, um das Ertragspotenzial auf der Teilfläche mit niedriger Leitfähigkeit (lehmiger Sand) auszuschöpfen. Durch eine verhaltene vegetative Entwicklung stand letztendlich ein größerer Bodenwasservorrat in der Zeit der Kornausbildung zur Verfügung.

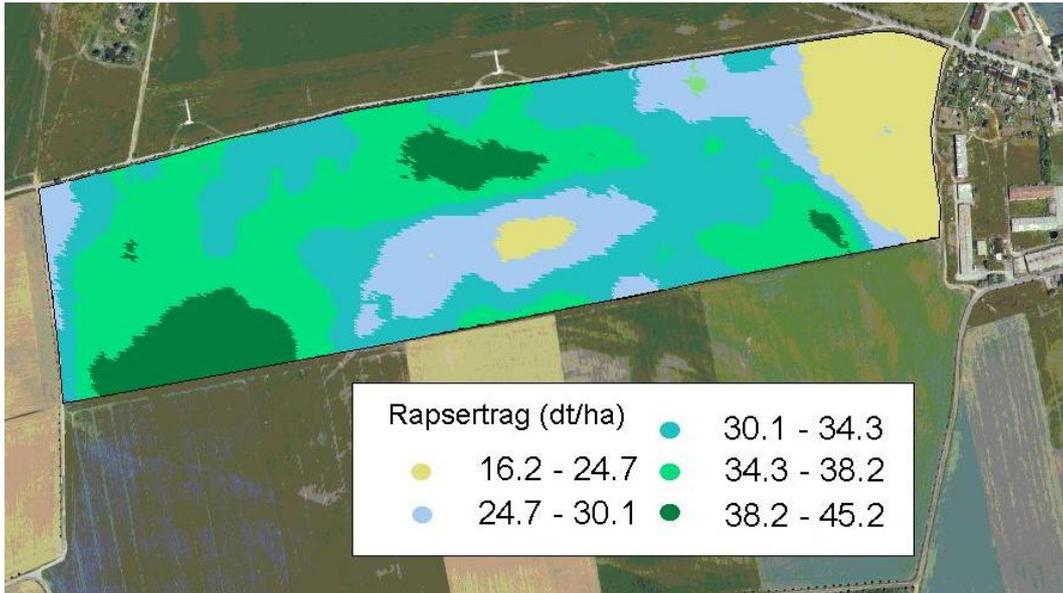


Abbildung 51: Ertragskarte 2006 für den Schlag „Am Flugplatz“

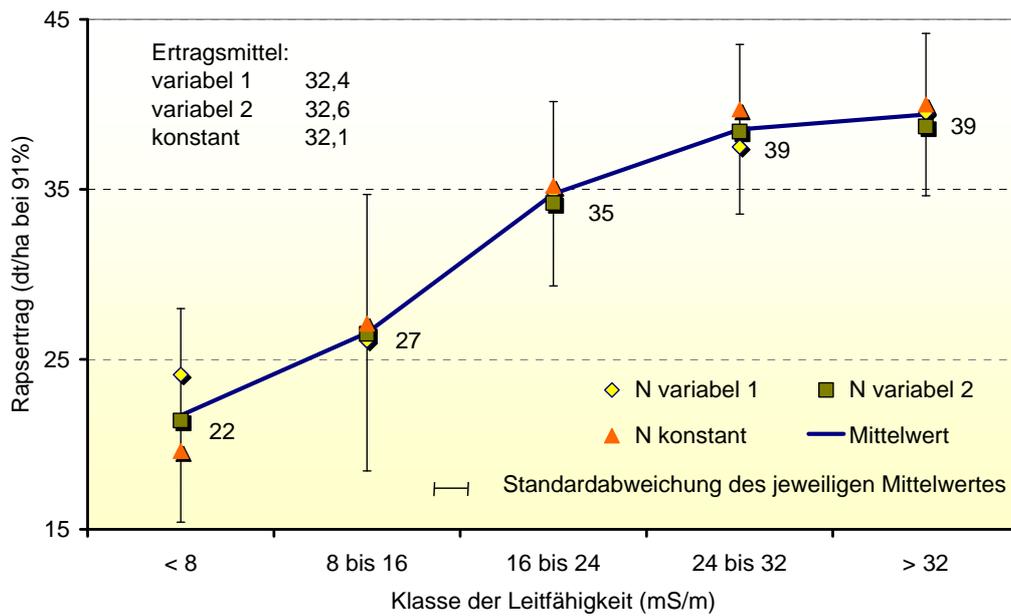


Abbildung 52: Winterertragskarte in den Prüfgliedern und Leitfähigkeitsklassen des Bodens

Tabelle 3: Ertragsmittel und Signifikanz zwischen den Prüfgliedern und Leitfähigkeitsklassen (multiple Varianzanalyse; Tukey, 0,05 %)

Leitfähigkeit	variabel 1		variabel 2		konstant	
	N-Menge kg N/ha	Ertrag dt/ha	N-Menge kg N/ha	Ertrag dt/ha	N-Menge kg N/ha	Ertrag dt/ha
< 8	179	24,1 b ¹⁾	196	21,4 a	170	19,6 a
8 bis 16	155	26,1 b	182	26,5 b	170	27,1 b
16 bis 24	136	34,8 c	175	34,2 c	170	35,2 c
24 bis 32	135	37,5 d	162	38,4 de	170	39,7 e
> 32	142	39,5 de	161	39,5 de	170	40,0 e

¹⁾ gleiche Buchstaben hinter dem Ertragsmittel bedeuten keine Signifikanz

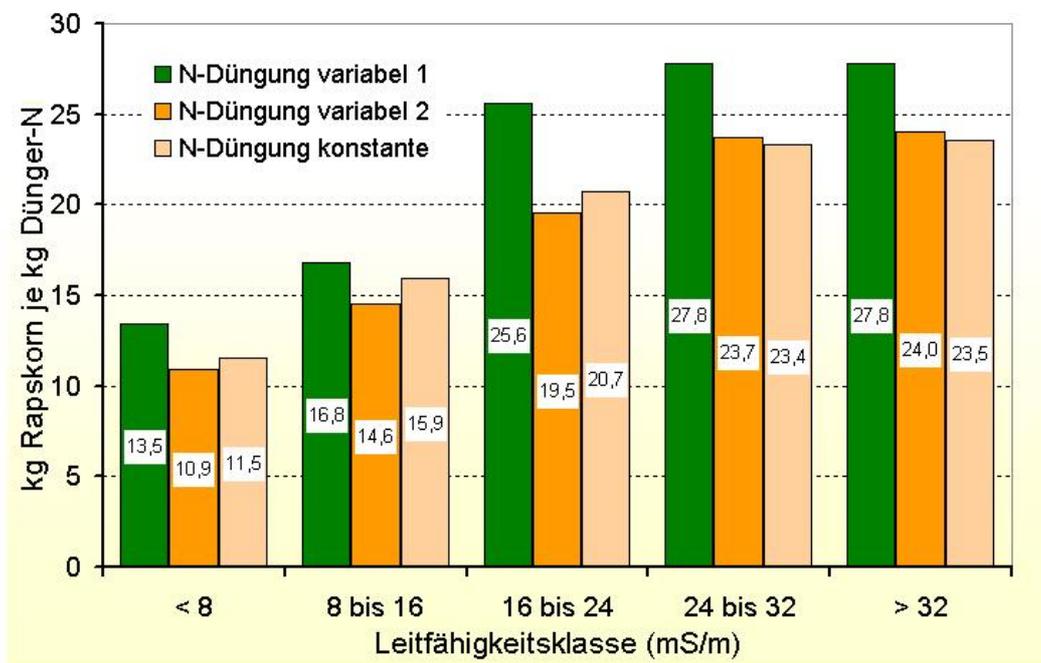


Abbildung 53: Effizienz des eingesetzten Düngerstickstoffs in den einzelnen Prüfgliedern und Leitfähigkeitsklassen

Während die Unterschiede im Ertrag insgesamt gering bleiben, erweist sich das Prüfglied "variabel 1" hinsichtlich der Effizienz des eingesetzten Stickstoffs in allen Leitfähigkeitsklassen überlegen (Abb. 53). Insgesamt steigt die Effizienz des eingesetzten Dünger-N mit ansteigender Leitfähigkeit und wird durch den höheren Rapsenertrag bestimmt. Zumindest indirekt spiegelt sich hier auch die Differenzierung des N_{\min} wider. Zieht man den N_{\min} in diese Berechnungen ein, so standen im Be-

reich der mittleren und hohen Leitfähigkeit etwa 6 kg N/ha für die Erzeugung einer dt/ha Rapskorn zur Verfügung.

Die Reaktion des N-Sensors zur zweiten N-Gabe auf die in den variablen Prüfgliedern vorgelegten Stickstoffmengen der ersten N-Gabe ist in den Abbildungen 54 und 55 dargestellt. Sichtbar wird, dass durch den Sensor in beiden Fällen ein weitestgehender Ausgleich im Hinblick auf die gesamte N-Menge erfolgte. Unabhängig von der Höhe der ersten N-Gabe wurden jeweils im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit letztendlich die höchsten N-Mengen ausgebracht. Weil hier auch die niedrigsten N_{\min} -Gehalte zu Beginn der Vegetation vorlagen, ist das die richtige Reaktion, wenn Stickstoff der limitierende Wachstumsfaktor ist. Problematisch wird es jedoch, wenn bei begrenztem Wasserangebot auf einzelnen Schlagteilen (niedrige Leitfähigkeit) das mögliche Ertragspotenzial regelmäßig geringer ist. Hier führt dieser Ausgleich zu einer deutlichen Überversorgung.

Um ausreichende Flächenanteile in jeder Leitfähigkeitsklasse zu haben, wurde auf die derzeit übliche Kombination (einheitliche erste/variable späte Gaben) verzichtet. Eine prinzipiell andere Reaktion wäre auch hierbei nicht zu erwarten.

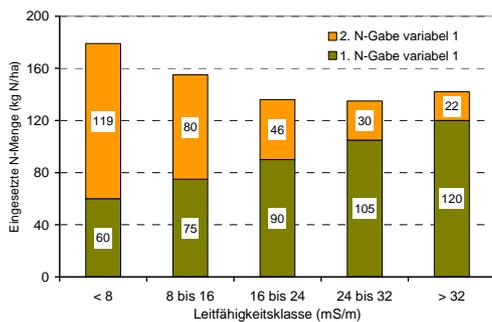


Abbildung 54: Ausgebrachte N-Menge im Prüfglied „variabel 1“

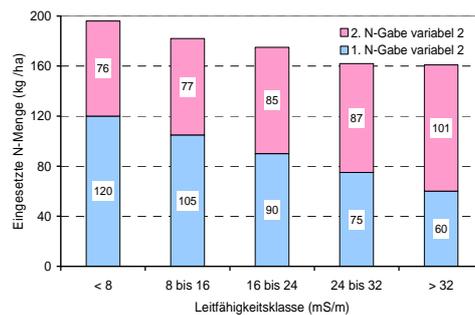


Abbildung 55: Ausgebrachte N-Menge im Prüfglied „variabel 2“

Nach der Ernte des Winterrapses wurde an den jeweiligen Probenahmepunkten des Frühjahrs der verbliebene N_{\min} und S_{\min} ermittelt (Abb. 56). Die N_{\min} -Restmengen sind nach der Ernte insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau. Anders sieht das beim S_{\min} aus, bei dem die Differenzierungen in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit erhalten bleiben.

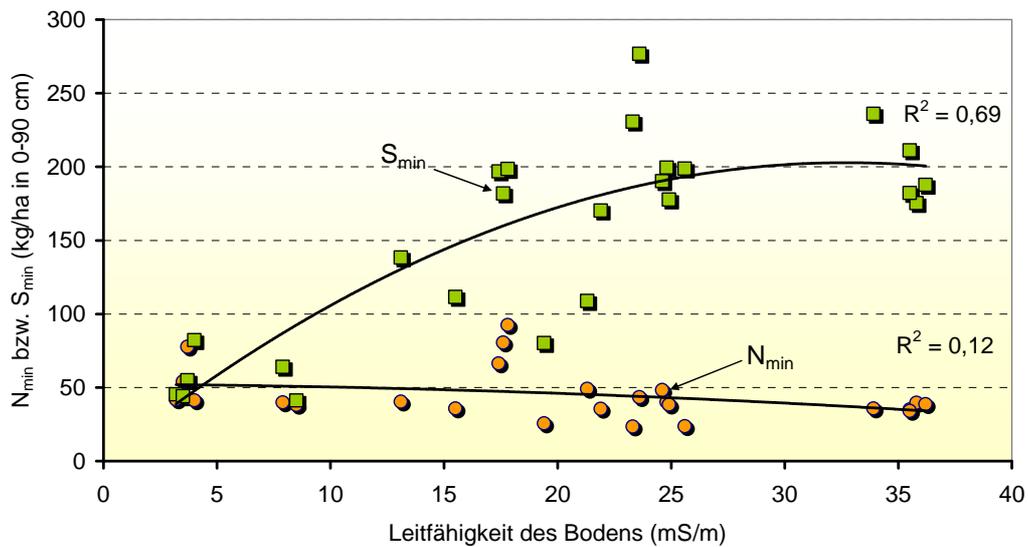


Abbildung 56: N_{min} - und S_{min} -Gehalte im Boden nach der Ernte des Winterraps 2006

Keine Aussagen lassen sich aus diesen Werten zu möglichen Nitratausträgen im folgenden Winter machen. Zwar wurde der ausgebrachte Stickstoff vom Rapsbestand insgesamt aufgenommen, im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit wurde aber nur die Hälfte des Ertrags erzielt. Deshalb ist hier mit deutlich höheren N-Mengen in Korn und Stroh zu rechnen. Weil das Rapsstroh auf dem Feld verbleibt, kann der Stickstoff im Spätsommer zügig wieder durch die Mineralisation freigesetzt werden.

Aus den Ertragskarten der Jahre 2005 und 2006 wurden die Kornerträge in den N_{min} -Proberastern entnommen und der Leitfähigkeit des Bodens gegenübergestellt (Abb. 57). Es zeigt sich noch einmal der enge Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem Ertrag. Die Darstellung macht aber auch deutlich, dass die gewählten N_{min} -Probenahmeraster den differenzierten Ertragsverhältnissen des Schlages sehr gut Rechnung tragen.

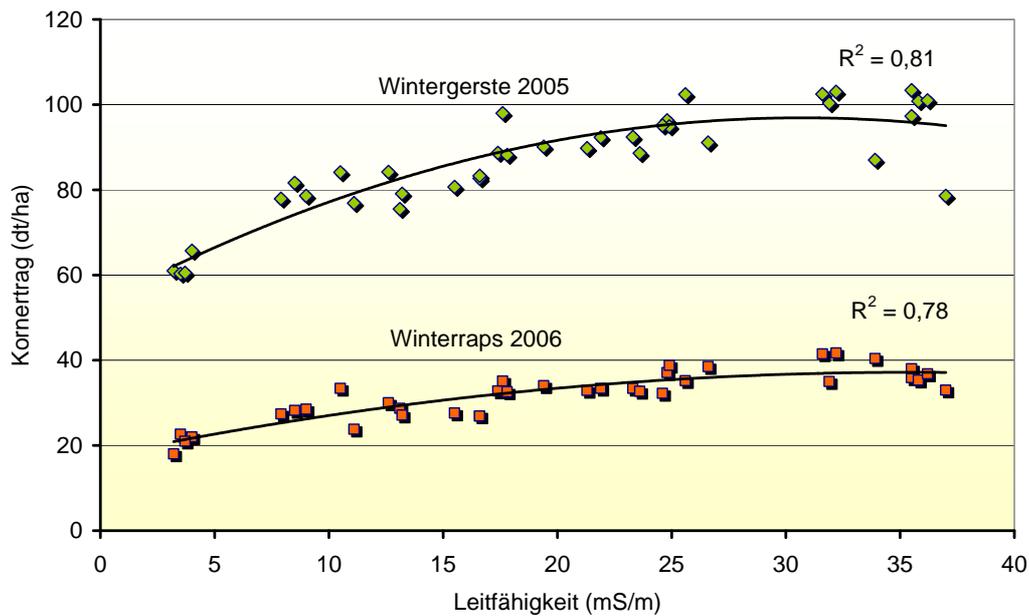


Abbildung 57: Ertrag in den N_{\min} -Probenahmerastern auf dem Schlag "Am Flugplatz" in den Jahren 2005 und 2006

3.4.3 Wintergerste

Die wichtigsten Anbaudaten der Wintergerstenschläge sind in der Tabelle 4 zusammengestellt. Die Gerste auf dem Schlag „Rüstergehege“ war nur geringfügig von Auswinterungsschäden betroffen. Innerhalb des Schlages zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede, die sich auch zur ersten N-Gabe in den durch den N-Sensor ermittelten Bestandesindex widerspiegeln (Abb. 62). Ungünstiger stellte sich die Situation auf dem Schlag 121.23 (Abb. 58) dar, wo nach einer üppigen Herbstentwicklung die Substanz- und Pflanzenverluste nach dem Winter groß waren. Die Vorgehensweise bei der N-Düngung der Wintergerste entspricht dem bereits beim Winterraps vorgestellten Schema.



Abbildung 58: Wintergerstenbestand auf dem Schlag 121.23 ausgangs des Winters 2006

Tabelle 4: Anbaudaten zu den Wintergerstenschlägen

Maßnahme	Schlag	
	Rüstergehege	121.23
Fruchtart/Sorte	Wintergerste – Sorte Lomerit	Wintergerste – Sorte Merlot
Vorfrucht	Hafer	Erbsen
Saatbeetbereitung	Pflug mit Nachläufer/Kreiselegge	Pflug mit Nachläufer/Kreiselegge
Aussaattermin/Saatstärke	26.-29.9.2005/270 Körner/m ²	15.9.2005/270 Körner/m ²
Organische Düngung	September 2005 mit 26 m ³ Gülle / ha	keine
1. N-Gabe	4.4.2006	3.4.2006
2. N-Gabe	3.5.2006	3.5.2006
Pflanzenschutz	19.10.2005 1,0 l/ha Baccara + 75 ml Karate zeon	10.10.2005 1,0 l/ha Baccara + 75 ml Karate zeon
	2.5.2006 0,5 l/ha Camposan extra	2.5.2006 0,5 l/ha Camposan extra
	11.5.2006 0,6 l/ha Gladio	11.5.2006 0,6 l/ha Gladio
Ernte	+ 0,6 l/ha Amistar 12./13.7.2006	+ 0,6 l/ha Amistar 13./16.7.2006

3.4.3.1 Schlag „Rüstergehege“

Auf dem Schlag „Rüstergehege“ streute der N_{\min} zum Ausgang des Winters zwischen 20 und 100 kg/ha in der Bodentiefe von 0 – 60 cm. Die Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem N_{\min} war relativ locker ($r = 0,44$). Ursachen dafür könnten vor allem bei der Güllendüngung im Herbst sowie in der Heterogenität des Pflanzenbestandes (vgl. Abb. 62) zu finden sein. Im Mittel finden sich im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit 37 kg N_{\min} /ha und bei der hohen Leitfähigkeit 72 kg N_{\min} /ha. Die Versuchsanlage erfolgte wie bereits beim Winterrapsgeschichtert. Die Lage der Prüfglieder und die ausgebrachten N-Mengen finden sich in Abbildung 60 und 61.

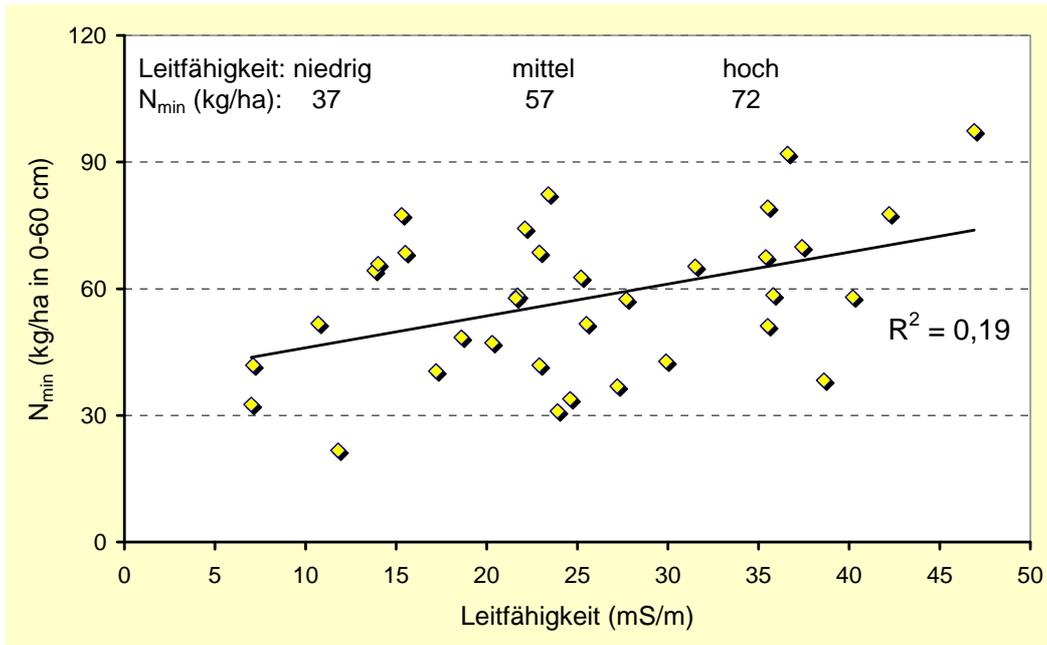


Abbildung 59: N_{\min} ausgangs des Winters auf dem Schlag „Rüstergehege“

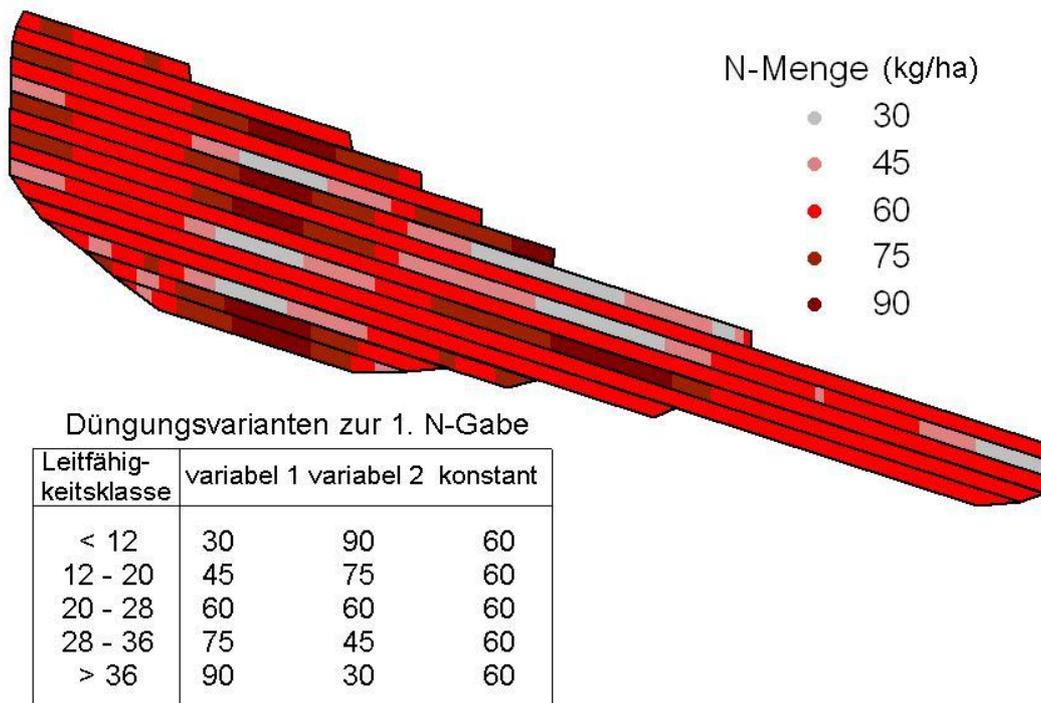


Abbildung 60: Stickstoffapplikationskarte zur 1. N-Gabe zur Wintergerste auf dem Schlag „Rüstergehege“

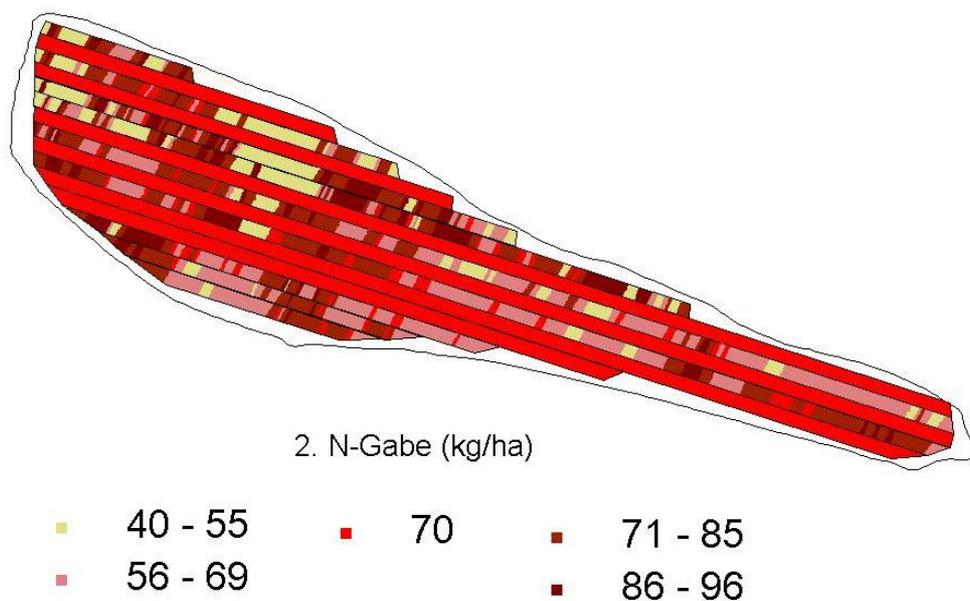


Abbildung 61: Applizierte Stickstoffmengen zur 2. N-Gabe zur Wintergerste auf dem Schlag „Rüstergehege“

Bereits zur ersten N-Gabe wird aus dem Bestandesindex ein deutlicher Einfluss des Bodens auf die Pflanzenentwicklung sichtbar. Zwischen diesem Index aus der Sensormessung und der Bodenleitfähigkeit ergibt sich eine recht enge Korrelation ($r = 0,67$).

Zwischen erster und zweiter N-Gabe fielen gerade 25 mm Niederschlag. Eine den Pflanzenbestand deutlich differenzierende Wirkung blieb deshalb bis in den Mai weitgehend aus. Dies wird deutlich an der Entwicklung des Bestandesindex aus den Sensormessungen (Abb. 62) zur jeweiligen N-Düngung. Die gegensätzlichen N-Gaben im Bereich hoher bzw. niedriger Leitfähigkeit führten in den Prüfgliedern mit variabler N-Menge zu keiner Differenzierung (Abb. 63). Die Bestandesentwicklung wird stärker von der Bodenqualität (Leitfähigkeitsklasse) als von der 1. N-Gabe beeinflusst, was durch den stärkeren Anstieg in den hohen Leitfähigkeitsklassen dokumentiert wird und unabhängig von der zur ersten N-Gabe eingesetzten Stickstoffmenge (30 oder 90 kg N/ha) war.

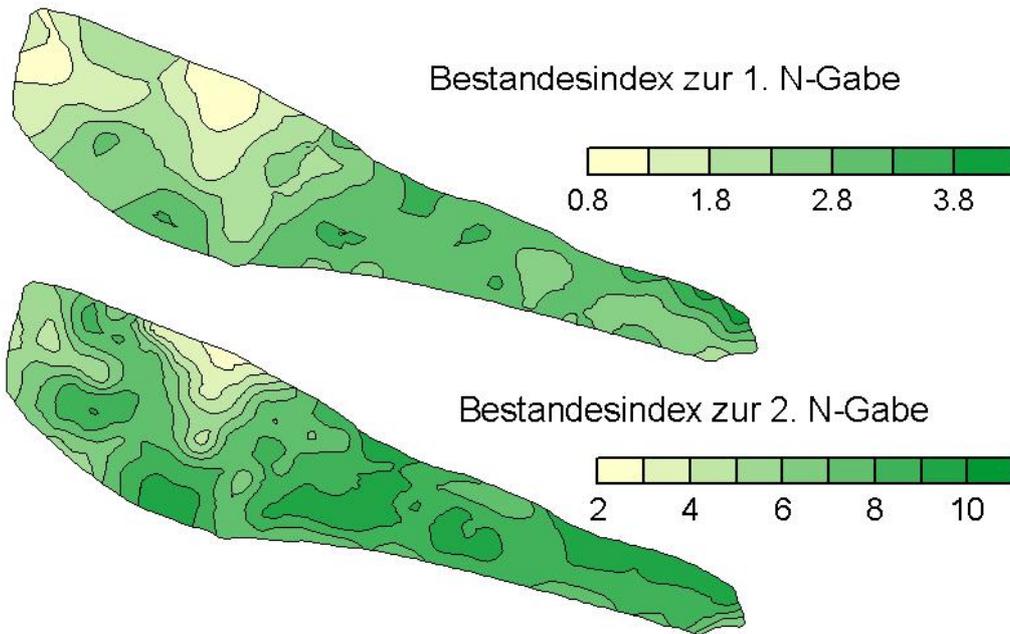


Abbildung 62: Bestandesindex zur ersten und zweiten N-Gabe der Wintergerste im Jahr 2006

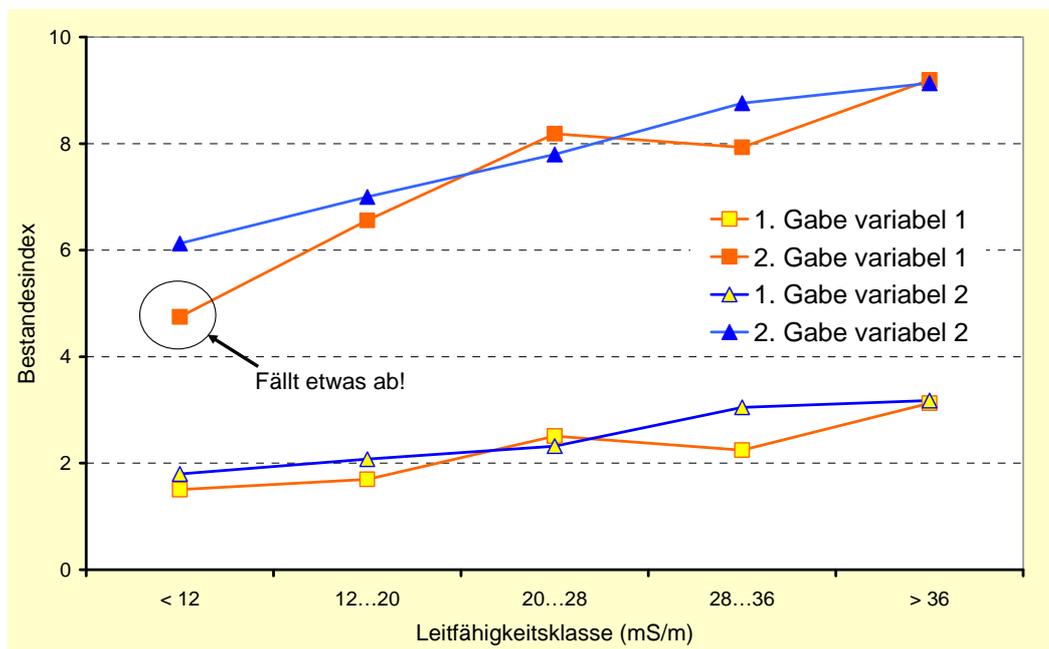


Abbildung 63: Entwicklung des Bestandesindex von der ersten zur zweiten N-Gabe in den Prüfgliedern mit variabler Stickstoffdüngung

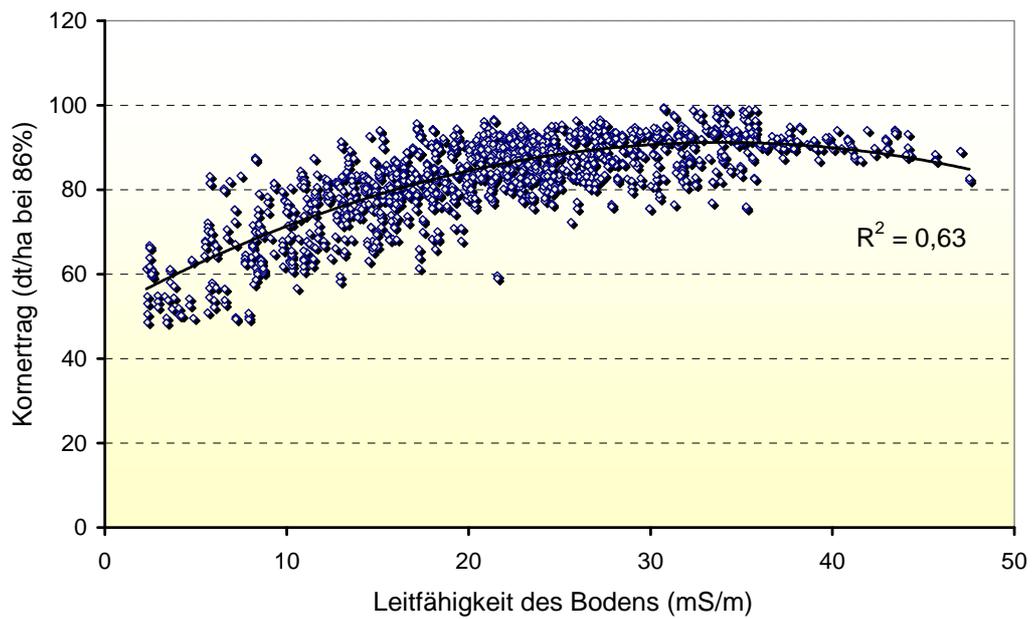


Abbildung 64: Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Kornertrag der Wintergerste (Rüstergehege, 2006)



Abbildung 65: Ertragskarte der Wintergerste auf dem Schlag „Rüstergehege“ im Jahr 2006

Auch bei der Wintergerste ergab sich für den gesamten Schlag „Rüstergehege“ eine enge Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem Kornertag (Abb. 64). Der Korrelationskoeffizient (r) beträgt 0,71. Die Ertragskarte (Abb. 65) weist große räumliche Differenzierungen innerhalb des Schlages aus.

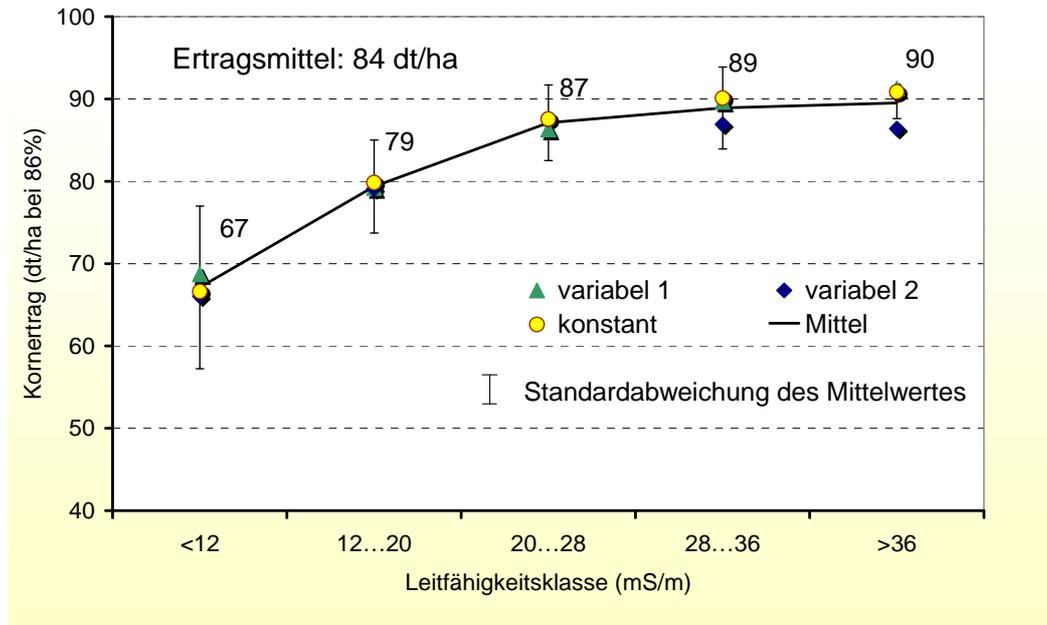


Abbildung 66: Kornertag der Wintergerste auf dem Schlag „Rüstergehege“ in den drei Prüfgliedern in Abhängigkeit von der jeweiligen Leitfähigkeitsklasse.

Es traten zwar zwischen den Leitfähigkeitsklassen signifikante Unterschiede auf, aber nicht zwischen den Prüfgliedern. Die Standardabweichungen der Mittelwerte (Abb. 66) belegen, dass die größten Ertragsschwankungen im Bereich niedriger Leitfähigkeit aufgetreten sind. Wie beim Winterrap auf dem Schlag „Am Flugplatz“ nimmt der Ertrag ab der mittleren Leitfähigkeitsklasse nur noch unwesentlich zu.

Zu Beginn der Vegetation im Frühjahr wurden sowohl im Bereich hoher als auch niedriger Leitfähigkeit N-Düngungsfenster angelegt. Durch Abdeckung der Flächen mit einer Folie zum jeweiligen Düngungstermin blieben sie ohne Stickstoff. Durch Handbearbeitung des Kernbereiches sowie durch Beprobung von in unmittelbarer Nähe gelegenen gedüngten Flächen konnte so der bodenbedingte Grundertrag ermittelt werden (Tab. 5).

Bei Unterlassung der N-Düngung blieb der Ertragsunterschied zwischen hoher und niedriger Leitfähigkeit relativ klein (6,4 dt/ha). Durch die Stickstoffdüngung steigt diese Differenz deutlich an

(32,2 dt/ha). Im Bereich der hohen Leitfähigkeit wurde der größte düngungsbedingte Ertragszuwachs erzielt. Das überrascht insofern nicht, weil hier vermutlich die größeren Wasservorräte des Bodens für eine bessere Verwertung des gedüngten Stickstoffs gesorgt haben.

Tabelle 5: Korn- und Strohertrag in den N-Düngungsfenstern bei hoher und niedriger Leitfähigkeit auf dem Schlag „Rüstergehege“

Leitfähigkeit	N-Düngung	Korntrag (dt/ha)	Strohertrag (dt/ha)	Korn- zu Strohverhältnis
niedrig	ohne	32,6	29,5	0,90
	mit 130 kg/ha	60,2	45,2	0,75
hoch	ohne	39,0	34,2	0,88
	mit 130 kg/ha	92,4	66,5	0,72

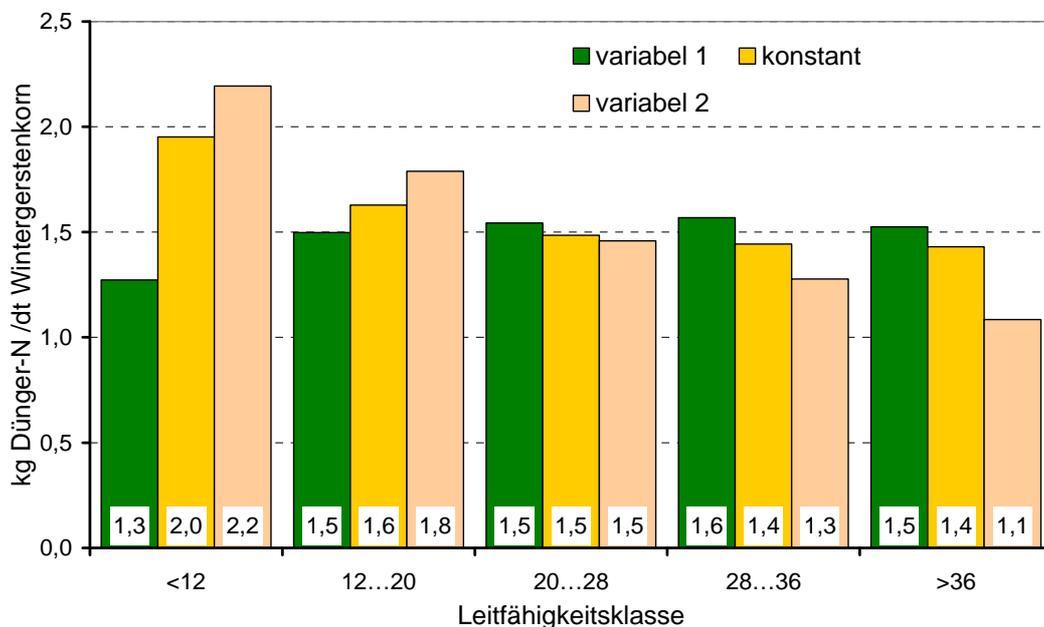


Abbildung 67: Effizienz des eingesetzten Düngerstickstoffs in den einzelnen Prüfgliedern und Leitfähigkeitsklassen

Eine verhaltene Andüngung mit einer kleinen N-Gabe (30 kg N/ha) war für eine gute N-Verwertung sowohl im hohen als auch im niedrigen Leitfähigkeitsbereich von Vorteil (Abb. 67). Der bei der variablen N-Düngung zur zweiten N-Gabe eingesetzte N-Sensor reagierte nur unwesentlich auf die differenzierte Andüngung. Weil zwischen den Düngungsterminen gerade einmal 25 mm Niederschlag gemessen wurden, war vermutlich die erste Stickstoffgabe kaum zur Wirkung gekommen.

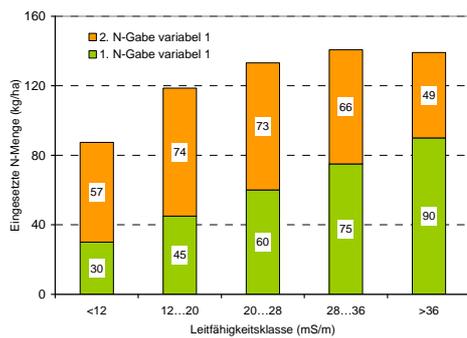


Abbildung 68: Ausgebrachte N-Menge im Prüfglied „variabel 1“

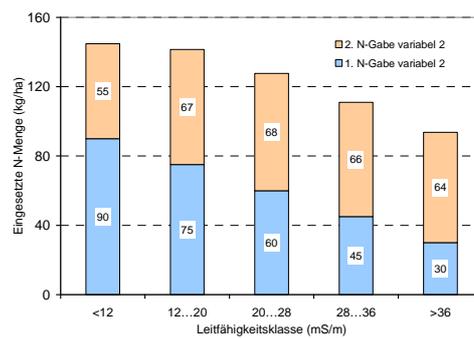


Abbildung 69: Ausgebrachte N-Menge im Prüfglied „variabel 2“

3.4.3.2 Schlag 121.23

Nach der Vorfrucht Erbsen fanden sich selbst nach üppiger Vorwinterentwicklung der Gerste Ende November 2005 im Mittel des Schlages 80 kg N_{\min} /ha. Bereits zu diesem Zeitpunkt gab es eine enge Beziehung zur Leitfähigkeit des Bodens ($r = 0,72$). Zu Vegetationsbeginn waren es dann im Mittel noch 55 kg N_{\min} /ha. Während im Bereich niedriger Leitfähigkeit die Werte deutlich darunter lagen, waren es bei hoher Leitfähigkeit über 170 kg/ha (Abb. 70). Bei Letzterem fand sich nahezu die Hälfte des Nitrat-N in der Bodentiefe von 60 bis 90 cm. Auf Grund des vorhandenen Pflanzenbestandes und der guten Erbsenvorfrucht wurde zur ersten Gabe eine niedrigere N-Menge als zur Wintergerste auf dem Rüstergehege angesetzt. Die Lage der Prüfglieder und die auf den jeweiligen Teilflächen verabreichten N-Mengen finden sich in den Abbildungen 71 und 72.

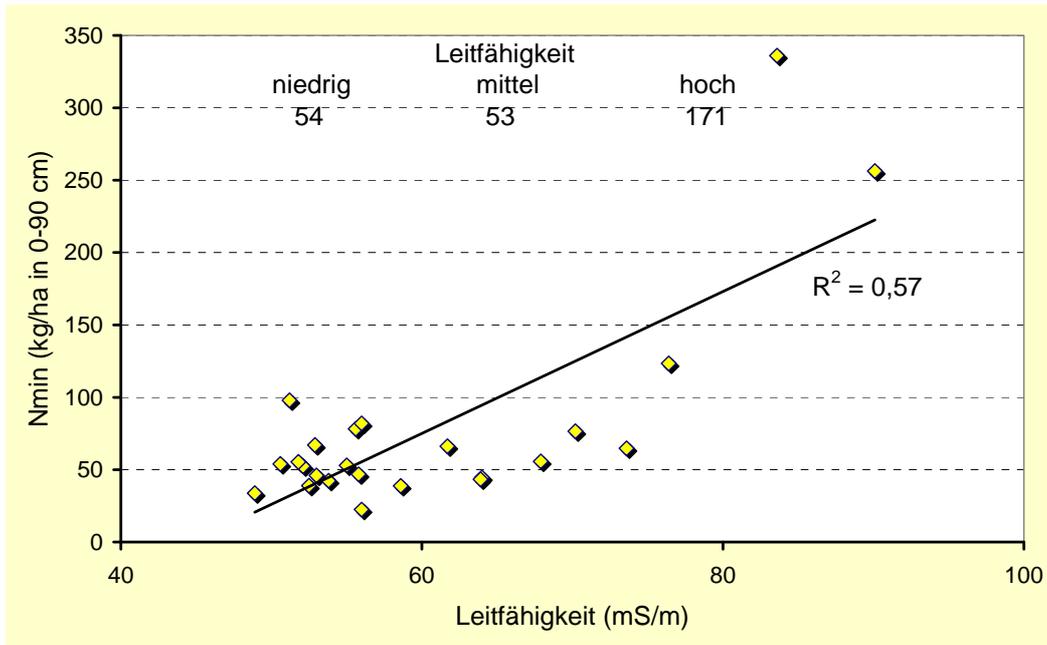


Abbildung 70: N_{\min} -Werte auf dem Schlag 123.23 zu Beginn der Vegetation im Jahr 2006

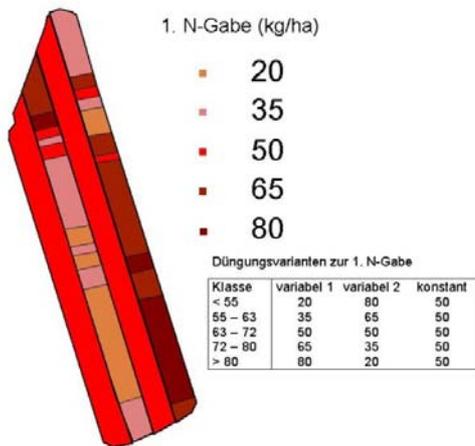


Abbildung 71: N-Applikationskarte für die erste N-Gabe

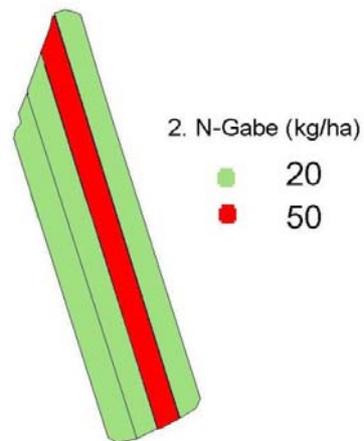


Abbildung 72: Ausgebrachte N-Menge zur zweiten N-Gabe



Abbildung 73: Ertragskarte der Wintergerste 2006 auf dem Schlag 121.23

Die Auswinterungsschäden haben dazu geführt, dass es keine Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem Kornertrag gibt ($r = 0,05$). Mit 54 dt/ha wurden im Mittel 30 dt/ha weniger Korn geerntet als auf dem Schlag „Rüstergehege“. Aus der Ertragskarte (Abb. 73) wird die beachtliche Ertragsvariabilität sichtbar. Die variable N-Düngung hatte keinen bemerkenswerten Einfluss. Auf eine detaillierte Darstellung soll deshalb verzichtet werden.

Wie bereits unter 3.4.3.1 beschrieben, wurden auch auf diesem Wintergerstenschlag N-Düngewerfen angelegt. Bei Unterlassung der N-Düngung sind hier die Ertragsunterschiede noch geringer, wofür in erster Linie die insgesamt zu geringe Pflanzendichte verantwortlich war. Der düngungsbedingte Ertragszuwachs fällt ebenfalls wesentlich geringer aus (14 bzw. 35 dt/ha).

Tabelle 6: Korn- und Strohertrag in den N-Düngungsfenstern bei hoher und niedriger Leitfähigkeit auf dem Schlag „121.23“

Leitfähigkeit	N-Düngung	Kornertrag (dt/ha)	Strohertrag (dt/ha)	Korn- zu Strohverhältnis
niedrig	ohne	37,5	38,5	1,03
	mit 100 kg/ha	51,5	51,0	0,99
hoch	ohne	40,1	38,0	0,95
	mit 100 kg/ha	74,8	71,8	0,96

3.4.4 Winterweizen

Die wichtigsten Anbaudaten der Winterweizenschläge sind in der Tabelle 7 zusammengestellt. Der Weizen kam insgesamt schwach entwickelt aus dem Winter. Unter diesen Bedingungen ist auch das Wurzelsystem der Pflanzen klein. Unter den trockenen Frühjahrsbedingungen konnten die Pflanzen schlechter den im Boden vorhandenen Stickstoff sowie das Wasser nutzen. Zudem kam der Dünger-N nur langsam zur Wirkung. Das Ertragsniveau blieb deshalb deutlich hinter dem der Wintergerste zurück.

Tabelle 7: Anbaudaten zu den Winterweizenschlägen

Maßnahme	Schlag	
	Goldbreite 121.4	Goldbreite 122.22
Fruchtart/Sorte	Winterweizen/Compliment	Winterweizen/Pegassos
Vorfrucht	Winterraps	Wintergerste
Saatbeetbereitung	Pflug mit Nachläufer/Kreiselegge	Pflug mit Nachläufer/Kreiselegge
Aussaattermin/Saatstärke	13./14.10.2005/ 320 Körner/m ²	14./17.10.2005/ 320 Körner/m ²
Organische Düngung	keine	20m ³ /ha Rindergülle
1. N-Gabe	4.4.2006	6.4.2006
2. N-Gabe	10.5.2006	10.5.2006
3. N-Gabe	6.6.2006	6.6.2006
Pflanzenschutz	20.4.2006 100 ml/ha Primus + 30g/ha Oratio + 0,5 l/ha Topik	20.04.2006 130 g/ha Husar + 500ml/ha Mero + 1,0 l/ha Loredo
	5.5.2006 1,0 l/ha Stabilan	5.5.2006 1,0 l/ha Stabilan
	30.5.2006 2,0 l/ha Amistar opti	30.5.2006 2,0 l/ha Amistar opti
	19.6.2006 1,0 l/ha Folicur	19.6.2006 1,0 l/ha Folicur
Ernte	23.07.2006	21.07.2006

3.4.4.1 Schlag 121.4

Nach Winterraps fand sich im März 2006 ein N_{\min} -Gehalt von rund 110 kg/ha in 0 – 90 cm Bodentiefe im Mittel des Schlages. Die Beziehung zur Leitfähigkeit war allerdings relativ locker (Abb. 74). Auf Grund der insgesamt verhaltenen Bestandesentwicklung wurde zur ersten N-Gabe für das konstante Prüfglied eine Stickstoffmenge von 60 kg/ha festgelegt. In den variablen Prüfgliedern erfolgte die Verteilung des Stickstoffs nach dem bereits geschilderten Muster (Abb. 74) entsprechend der Leitfähigkeit. Zur zweiten und dritten N-Gabe wurde in den variablen Prüfgliedern der Sensor nach entsprechender Kalibrierung eingesetzt. Die verabreichten N-Mengen sind in den Abbildungen 75 bis 77 dargestellt. Für das konstante Prüfglied wurde hier eine feste Abfolge mit 60-60-40 kg N/ha festgelegt.

Die große Heterogenität des Pflanzenbestandes dokumentieren die zur zweiten und dritten N-Gabe aus den Sensormessungen abgeleiteten Werte des Bestandesindex (Abb. 78 und 79). Die Differenziertheit des Bestandes nimmt im Verlauf des Frühjahrs ab. Auf Grund der Trockenheit blieb die Bestockung in den Bereichen mit dünnem Pflanzenbestand relativ begrenzt.

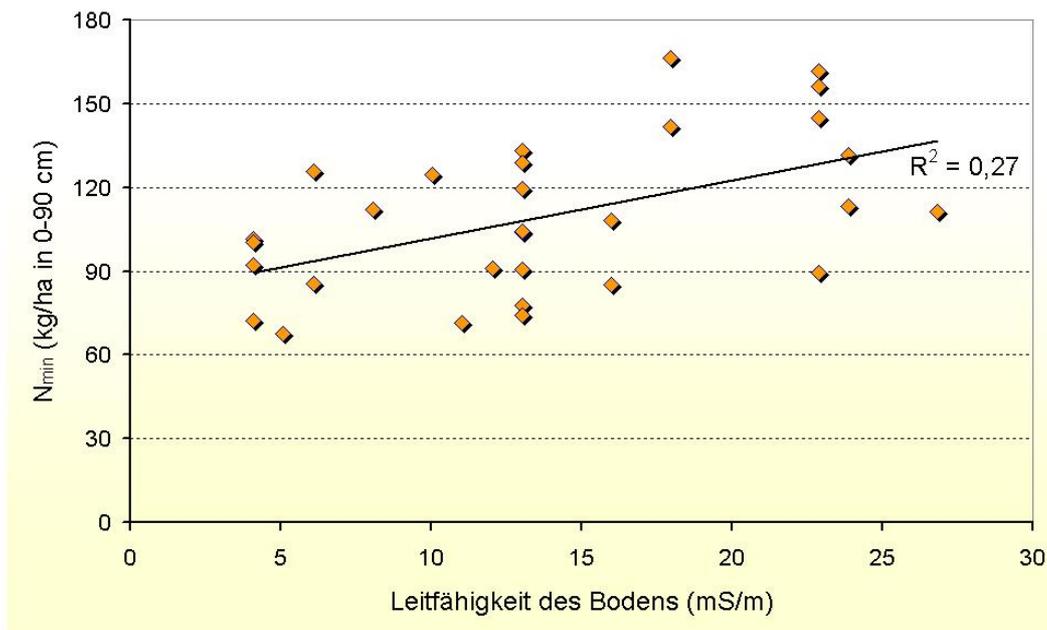


Abbildung 74: N_{\min} -Gehalte in den Probenahmerastern zu Beginn der Vegetation 2006

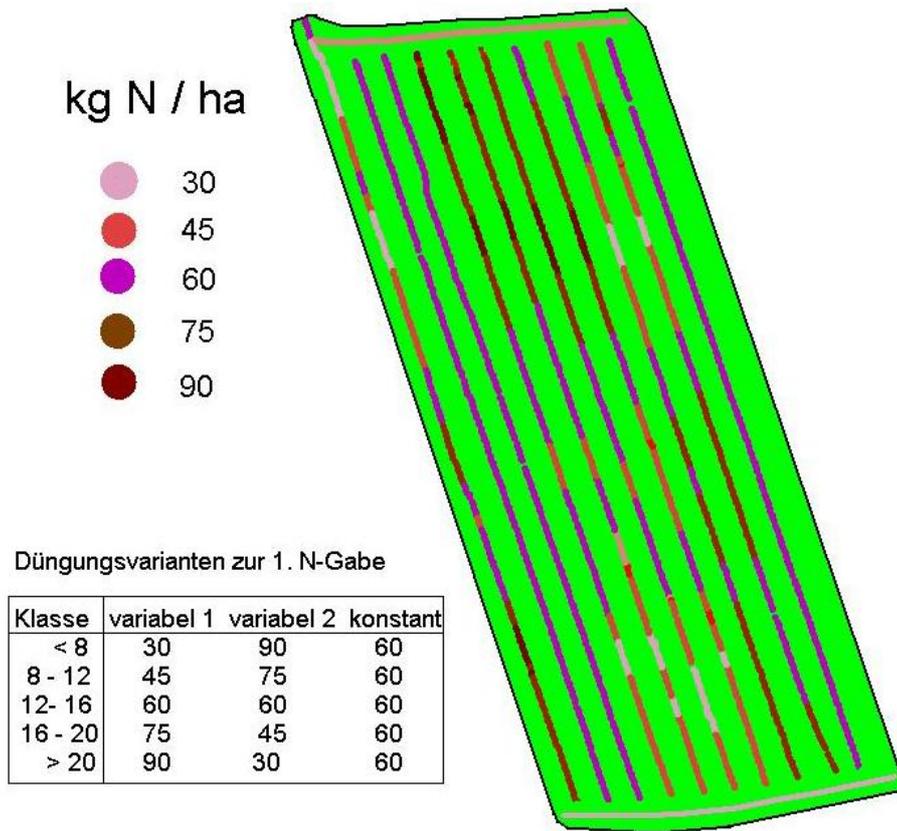


Abbildung 75: Applikationskarte für die erste N-Gabe auf dem Schlag 121.4

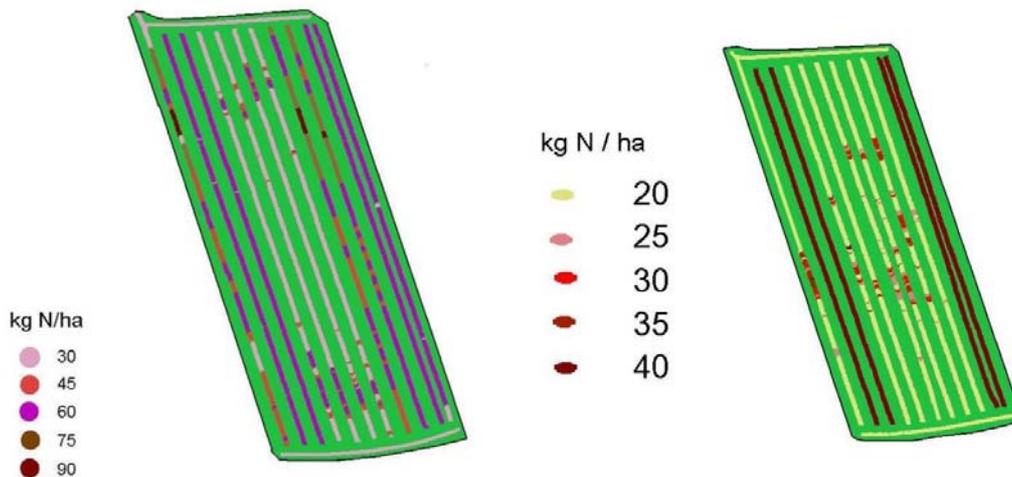


Abbildung 76: Ausgebrachte N-Mengen zur zweiten N-Gabe auf dem Schlag 121.4

Abbildung 77: Ausgebrachte N-Mengen zur dritten N-Gabe auf dem Schlag 121.4

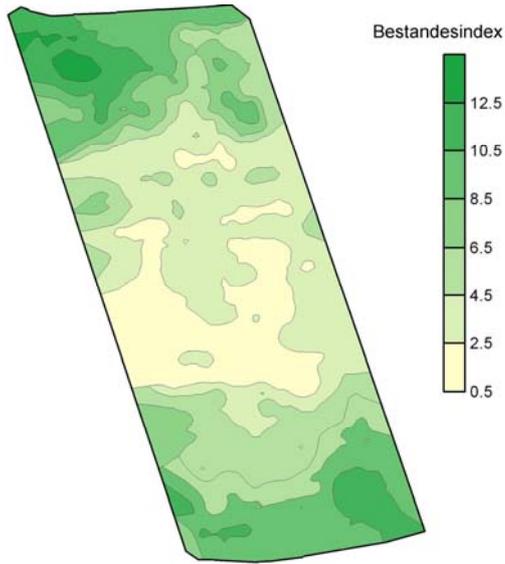


Abbildung 78: Bestandesindex zur zweiten N-Gabe



Abbildung 79: Bestandesindex zur dritten N-Gabe

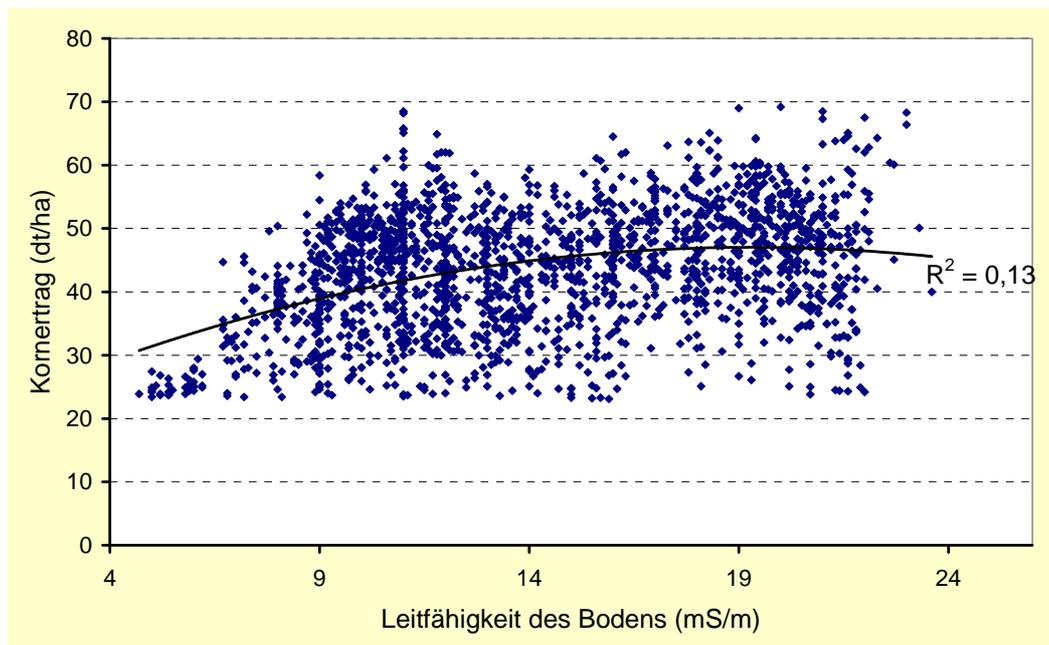


Abbildung 80: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem Winterweizen-ertrag auf dem Schlag 121.4

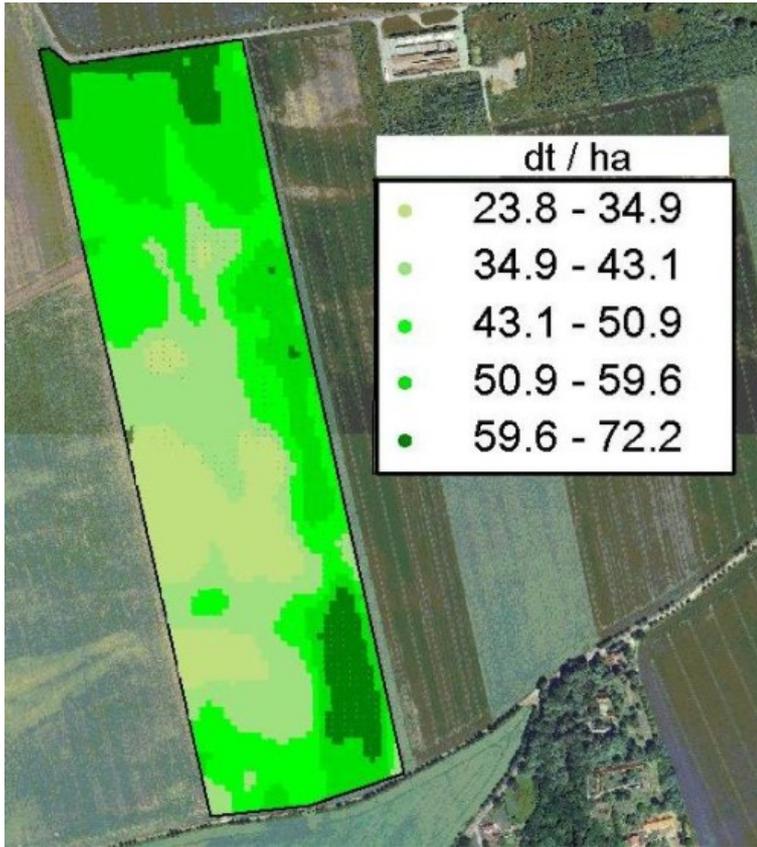


Abbildung 81: Ertragskarte des Winterweizens auf dem Schlag 121.4

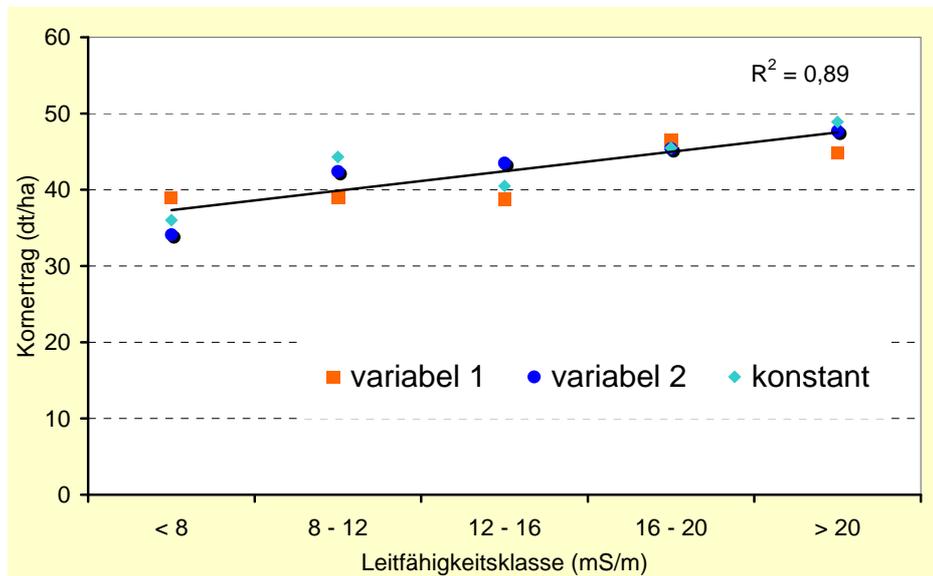


Abbildung 82: Mittlerer Kornertrag in den Leitfähigkeitsklassen der drei Prüfglieder

Das niedrige Ertragsniveau war mit einer großen Variabilität innerhalb des Schläges und der jeweiligen Leitfähigkeitsklassen verbunden. Der Einfluss der Bodenheterogenität spielte letztendlich nur eine untergeordnete Rolle. Stärker dürften hier die zur Schneeschmelze für mehrere Tage in den Senken aufgetretene Überflutung und die dadurch verursachten Pflanzenverluste (temporäre Heterogenität) verantwortlich sein. Die Mittelwerte innerhalb der Leitfähigkeitsklassen (Abb. 82) lassen allerdings auch hier einen leichten Ertragszuwachs mit zunehmender Leitfähigkeit erkennen. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Die Reaktion des N-Sensors auf die zur ersten N-Gabe differenziert ausgebrachte Stickstoffdüngung (Abb. 76 und 77) spricht eindeutig für eine verhaltene Andüngung. Besonders trifft dies wieder für den Bereich der niedrigen Leitfähigkeit zu. Unter den Vorgaben des Prüfgliedes „variabel 1“ blieb der Sensor zumeist an den vorgegebenen unteren Grenzen (zur zweiten Gabe waren das 30 kg N/ha und zur dritten Gabe 20 kg N/ha). Die Vorgaben aus der ersten N-Gabe bei „variabel 2“ wurden durch den N-Sensor zur zweiten Gabe nahezu ausgeglichen.

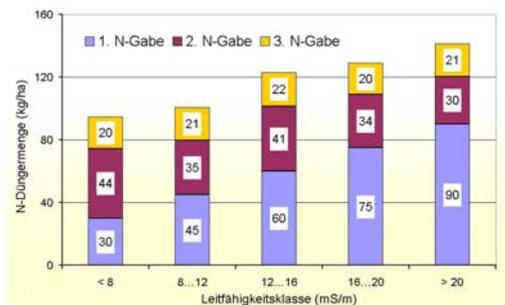


Abbildung 83: Ausgebrachte N-Menge im Prüfglied „variabel 1“

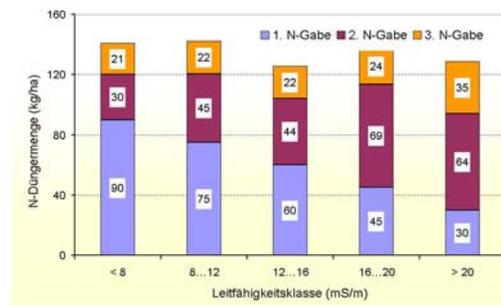


Abbildung 84: Ausgebrachte N-Menge im Prüfglied „variabel 2“

Die auch hier angelegten Düngungsfenster wurden in Bereiche mit optimaler Pflanzendichte etabliert. Unter diesen Bedingungen war der Einfluss der Bodenheterogenität auf den Kornertrag sogar recht deutlich. In den nicht mit N gedüngten Fenstern ergab sich zwischen niedriger und hoher Leitfähigkeit ein Ertragsunterschied von 13 dt/ha (Tab. 8) und beim Rohproteingehalt von 0,8 %. Der düngungsbedingte Mehrertrag hielt sich mit 8 bzw. 10 dt/ha allerdings in Grenzen. Bewirkt wurde jedoch ein deutlicher Anstieg der Rohproteingehalte. Bemerkenswert ist, dass die TKM nicht von der Düngung sondern im starken Maße von der Leitfähigkeit des Bodens beeinflusst wurde. Die größere Wasserreserve hat sich also besonders in der Kornfüllphase ausgewirkt.

Tabelle 8: Einfluss der N-Düngung auf Ertrag und Qualitätsparameter bei niedriger und hoher Leitfähigkeit des Bodens

Leitfähigkeit	N-Düngung	Ertrag (dt/ha)	Rohprotein (%)	TKM (g)	Sedimentationswert
niedrig	ohne	49	11,2	33,6	44
	mit	59	13,1	33,1	59
hoch	ohne	62	12,0	36,8	52
	mit	70	14,1	38,7	70

3.4.4.2 Schlag 122.22

Nach einer im Herbst 2005 erfolgten Gülledüngung streuen die N_{\min} -Werte im März 2006 auf diesem Schlag beachtlich (40 ... 185 kg/ha). Trotzdem ergibt sich eine gute Beziehung zur Leitfähigkeit des Bodens. Deshalb sollte auch dieser Schlag in die Versuchsreihe einbezogen werden. Als Nachteil erwies es sich allerdings, dass zur Schneeschmelze Teilflächen über mehrere Tage mit Schmelzwasser überschwemmt waren und es hier zu beachtlichen Pflanzenverlusten kam.

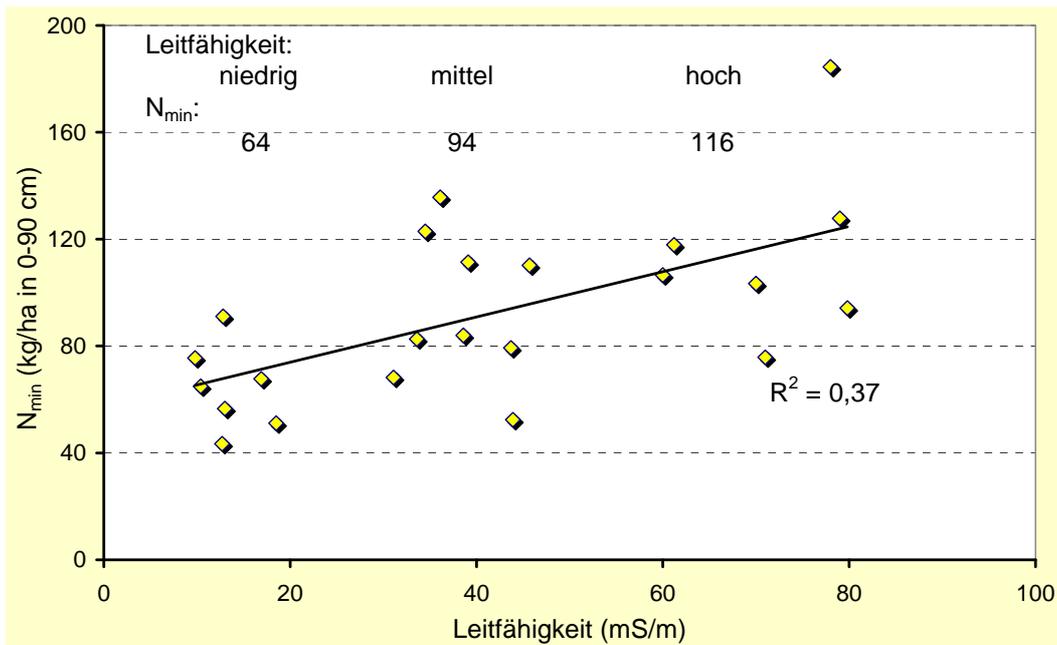


Abbildung 85: N_{\min} -Werte in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit¹⁾ des Bodens auf dem Schlag 122.22 zu Beginn der Vegetation im Jahr 2006

1) Für diesen Schlag liegen verschiedene Leitfähigkeitsmessungen vor. Weil die im Herbst 2005 erfolgten EM 38-Messungen unter sehr trockenen Bodenbedingungen erfolgten, weisen die Messwerte nur eine geringe Spreizung auf. Die große Differenziertheit des Schlages wurde in früheren Messungen mit dem Veris 3100 deutlicher und fand deshalb hier Anwendung.

Anders als bei den bisher vorgestellten Versuchen wurde hier die erste Gabe einheitlich (50 kg/ha) verabreicht. Zur zweiten und dritten N-Gabe (Abb. 86 und 87) wurden jeweils eine einheitliche und eine variable sensorgestützte N-Ausbringung geprüft. Auf Grund des Witterungsverlaufs erholte sich der Bestand kaum. Die Auswirkungen zeigten sich beispielsweise an den aus den Sensormessungen ermittelten Werten zum Bestandesindex (Abb. 88). Besonders betroffen waren Schlagteile mit hoher Leitfähigkeit, bei denen zur zweiten N-Gabe die Spannweite der Messwerte besonders groß war. Die große Differenziertheit des Bestandes blieb auch im Verlauf der Vegetation erhalten, wie ein Vergleich der Abbildungen verdeutlicht. Auch die differenzierte N-Düngung hatte darauf keinen Einfluss, so dass auf eine detaillierte Auswertung verzichtet werden soll.

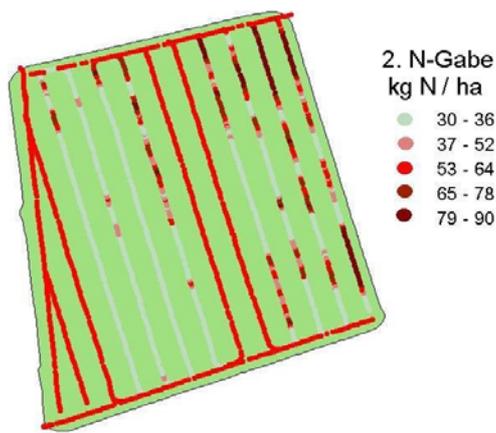


Abbildung 86: Ausgebrachte Stickstoffmenge zur zweiten N-Gabe

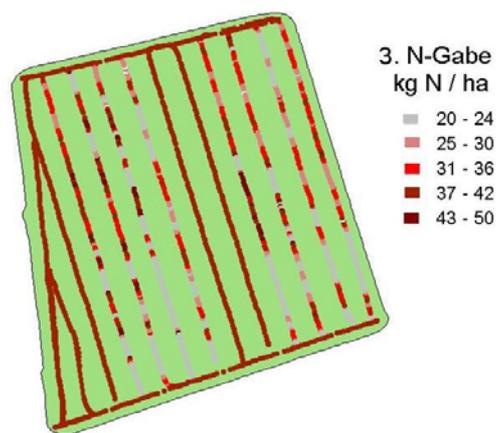


Abbildung 87: Ausgebrachte Stickstoffmenge zur dritten N-Gabe

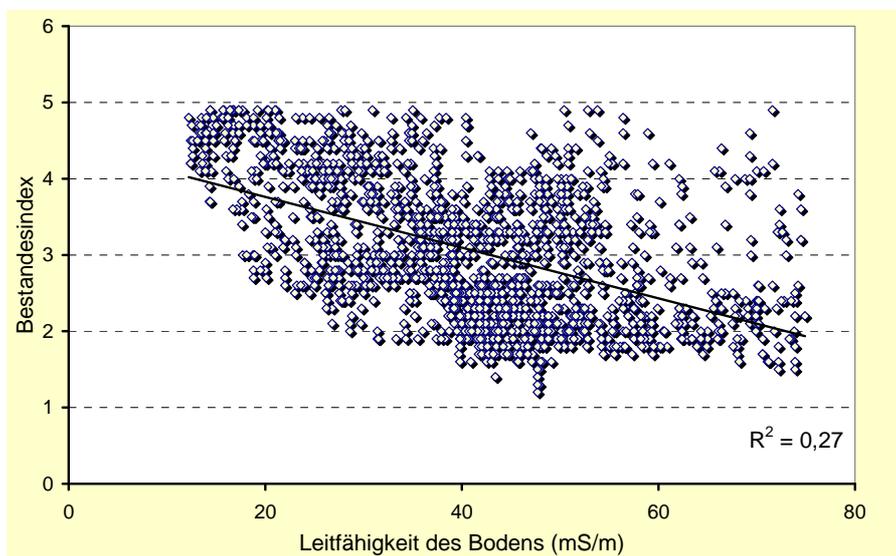


Abbildung 88: Bestandesindex des Winterweizens zur zweiten N-Gabe im April 2006

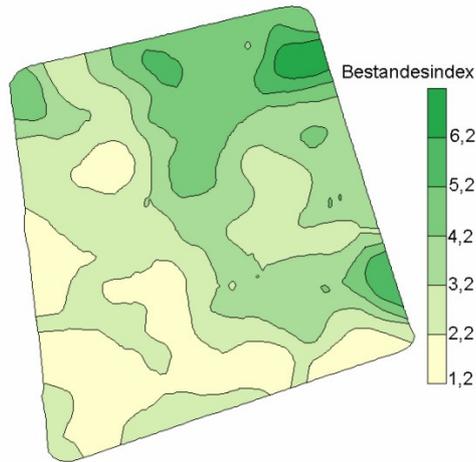


Abbildung 89: Bestandesindex des Winterweizens zur zweiten N-Gabe auf dem Schlag 122.22 vom 06.04.2006

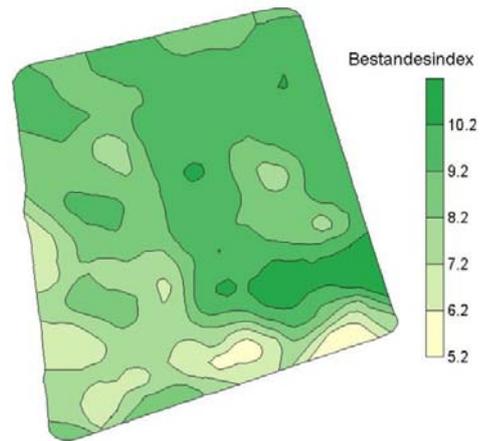


Abbildung 90: Bestandesindex des Winterweizens zur dritten N-Gabe auf dem Schlag 122.22 vom 10.05.2006

Anders als bei dem Raps und der Gerste ergab sich beim Ertrag kein Zusammenhang zur elektrischen Leitfähigkeit (Abb. 91). Mit der Zunahme der Bodenleitfähigkeit nimmt der mittlere Ertrag ab, die Streuung der einzelnen Werte aber deutlich zu. Bei einem insgesamt niedrigen Kornertrag weist die Ertragskarte (Abb. 92) jedoch eine deutliche Zonierung auf.

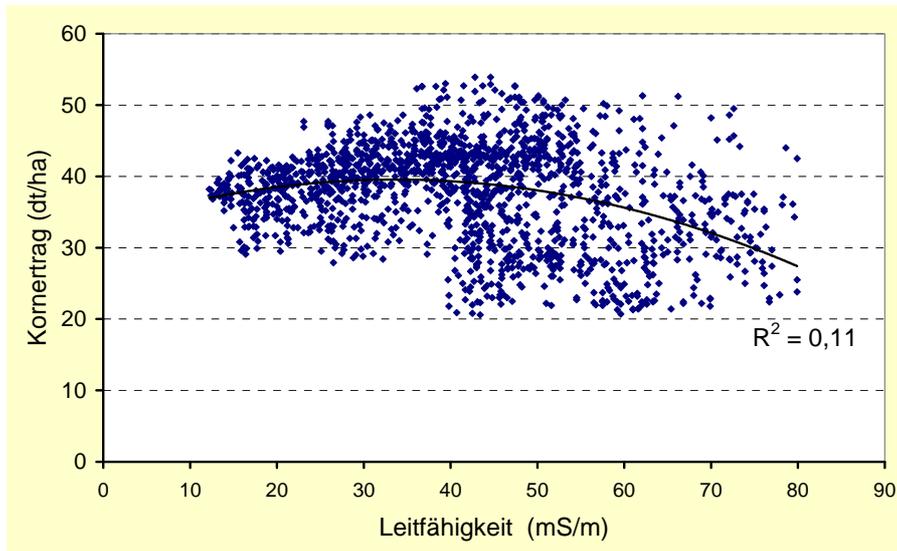


Abbildung 91: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit des Bodens und dem Winterweizen-ertrag auf dem Schlag 122.22

Abbildung 93 gibt den Zusammenhang zwischen dem Bestandesindex und dem späteren Korn-
ertrag wieder und kann als Erklärung für die vorhandene Ertragsvariabilität herangezogen werden.
Der Ertragsabfall kommt auf den Schlagteilen besonders zum Tragen, wo der Bestandesindex nie-
drig und somit der Pflanzenbestand dünn war. Die lange Vegetationsruhe im Winter und die nach
dem späten Frühjahr witterungsbedingte kurze Bestockungsphase haben wesentlich dazu beigee-
tragen.

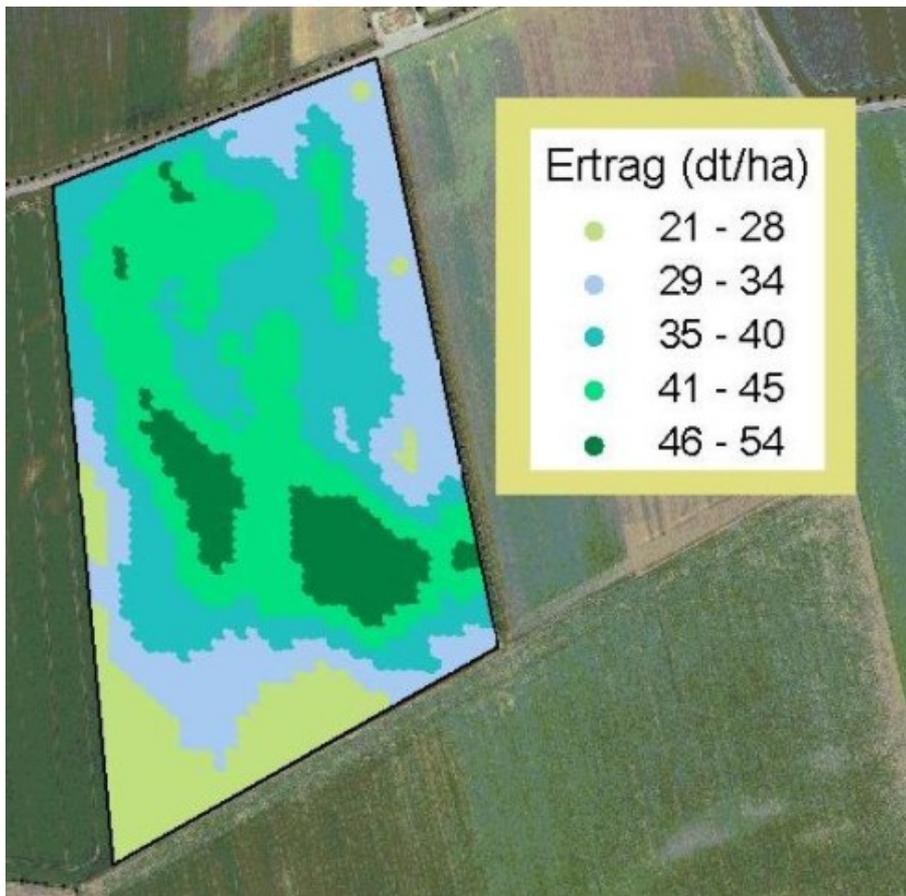


Abbildung 92: Ertragskarte des Winterweizens 2006 auf dem Schlag 122.22

Dass dies bei optimaler Bestandesdichte anders aussah, geht aus den in den auch auf diesem
Schlag angelegten Düngungsfenstern hervor. Angelegt wurden sie dort, wo ein gleichmäßiger opti-
maler Pflanzenbestand vorhanden war. Die aus Handernten stammenden Erträge weisen beacht-
liche Unterschiede in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit sowie der N-Düngung auf (Tab. 9).

Ein Vergleich der Bohrkerne belegt, dass auf diesem Schlag gravierende Bodenunterschiede anzu-
treffen sind. Im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit beginnt unmittelbar unterhalb der Pflugzone in

etwa 30 cm Tiefe ein weitgehend ton- und schluffarmer Horizont der sich bis zur Beprobungstiefe von 330 cm erstreckte. Zwar wurden an diesen Proben keine Körnungsanalysen gemacht, die unter Punkt 3.4 dargestellten Nährstoffuntersuchungen der Tiefenproben belegen aber den in Abbildung 107 sichtbaren Unterschied.

Die nach der Ernte entnommenen N_{\min} -Proben weisen aus, dass selbst bei Unterlassung der N-Düngung die Aufnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs nicht vollständig erfolgte (Tab. 10). Im Mittel des Schlages blieben ein Betrag an Rest- N_{\min} in der Schicht von 0 – 90 cm von rund 130 kg/ha (Abb. 94). Die Streuungen waren jedoch beachtlich. Wie beim Kornertrag gibt es keinen Zusammenhang zur Leitfähigkeit des Bodens. Anders sieht das beim S_{\min} aus.

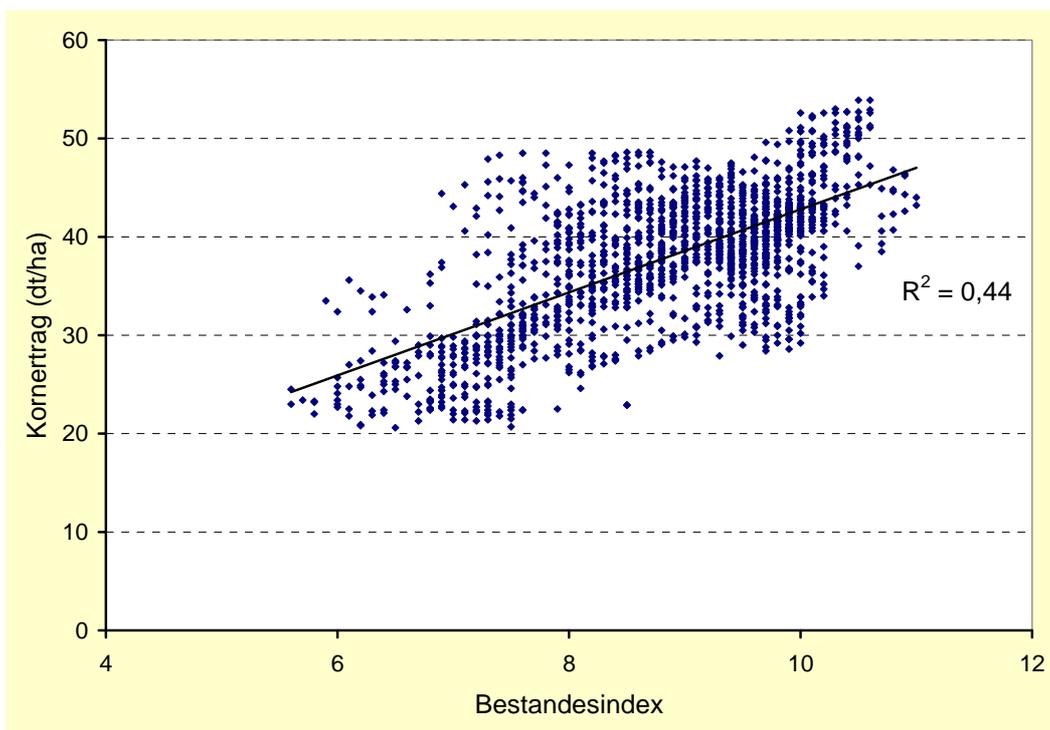


Abbildung 93: Beziehung zwischen dem Bestandesindex zur dritten N-Gabe und dem Kornertrag des Winterweizens auf Schlag 122.22

Tabelle 9: Einfluss der N-Düngung auf Ertrag und Qualitätsparameter bei niedriger und hoher Leitfähigkeit des Bodens

Leitfähigkeit	N-Düngung	Ertrag (dt/ha)	Rohprotein (%)	TKM (g)	Sedimentationswert
niedrig	ohne	22	11,2	31,2	41
	mit	39	14,9	33,2	68
hoch	ohne	58	10,5	39,6	39
	mit	65	12,0	40,0	50

Tabelle 10: N_{min} nach der Ernte des Weizens in den Düngungsfenstern

Leitfähigkeit	N-Düngung	N _{min} (kg/ha in 0 – 90 cm)
niedrig	ohne N	65
	mit N	98
hoch	ohne N	63
	mit N	131

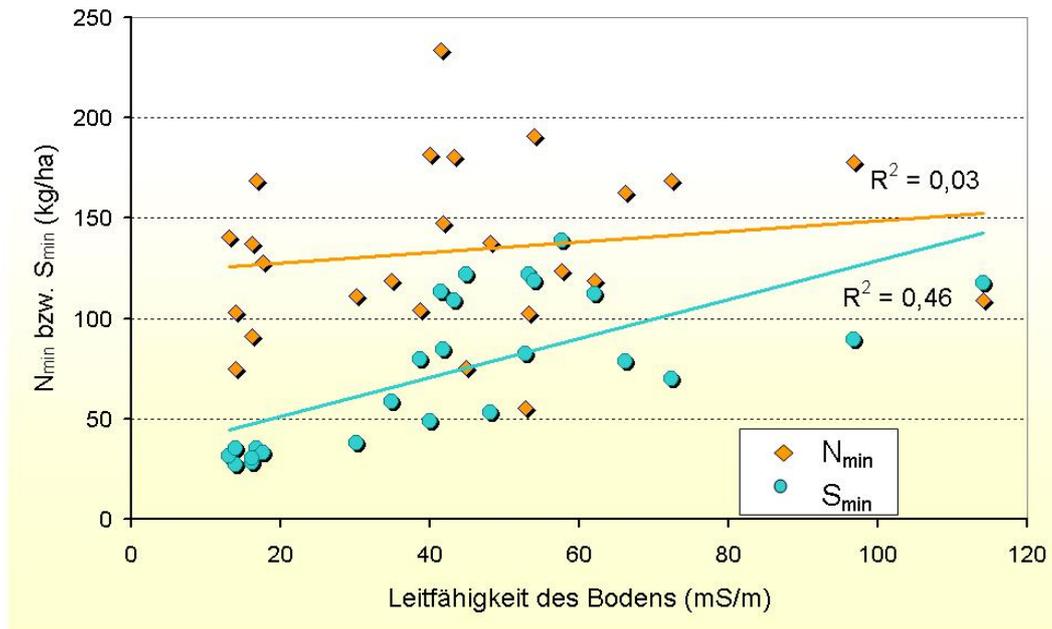


Abbildung 94: N_{min} und S_{min} nach der Ernte des Winterweizens

3.4.5 Fazit

Eine teilschlagspezifische N-Düngung zu Beginn der Vegetation kommt gegenwärtig selten zum Einsatz. Ursache dafür ist, dass für die Stickstoffdifferenzierung als Regelgröße zumeist der Pflanzenbestand und sein Ernährungszustand genutzt werden. Ausgangs des Winters reicht die aktive Pflanzensubstanz für den Einsatz der hier üblichen Sensoren (z. B. Messungen mit dem Spektrometer beim Yara-N-Sensor oder der Ausschlag des Pendels beim Cropmeter) nicht aus.

In Betrieben des mitteldeutschen Trockengebietes wird verschiedentlich nach dem Prinzip von Ertrags- bzw. Managementzonen gearbeitet. Die Verteilung des N-Düngers erfolgt über vorgegebene Applikationskarten. Selbst hier erhalten allerdings die Winterungen häufig erst die zweite Stickstoffgabe teilflächenspezifisch. Als Argument wird angeführt, dass zu Beginn der Vegetation ausreichend Stickstoff vorgelegt werden muss. Nicht bedacht wird allerdings, dass bei regelmäßig begrenztem Wasserangebot jede unproduktive Substanzbildung vermieden werden muss, die unweigerlich durch ein zeitiges, unangemessenes N-Angebot ausgelöst wird.

Die Variabilität der N_{\min} -Gehalte innerhalb von einheitlich bewirtschafteten Ackerschlägen und ihre Abhängigkeit von den Bodenunterschieden waren Anlass für die vorgestellten Untersuchungen. Ziel war es, bereits ausgangs des Winters mittels differenzierter Stickstoffdüngung darauf zu reagieren. Weil die N_{\min} -Unterschiede zumeist gut mit der Leitfähigkeit korrelierten, wurden die Bodenleitfähigkeitskarten als Basis für die Differenzierung genutzt.

Auf den stark heterogenen Schlägen des LVG Köllitsch erschien eine Aufteilung in fünf Klassen sinnvoll (vgl. 3.2). Dazu wurde die Spanne der Leitfähigkeitswerte im gleichmäßigen Intervall unterteilt. Neben einer einheitlichen N-Verteilung wurden jeweils zwei variable Prüfglieder angelegt. Für die variable erste N-Gabe kamen zwei entgegengesetzt Strategien zum Einsatz. Während im ersten Fall die Differenzierung im N_{\min} ausgeglichen wurde, erfolgte im zweiten Fall auf den Teilflächen mit niedriger Leitfähigkeit und niedrigeren N_{\min} -Gehalten lediglich eine verhalten Andüngung. Die größte N-Menge kam hier in der höchsten Leitfähigkeitsklasse zum Einsatz. In den variablen Prüfgliedern wurden die folgenden Gaben nach vorangegangener Eichung mit dem Yara-N-Sensor ausgebracht.

Die Ergebnisse wurden besonders durch die jahresspezifischen Witterungsbedingungen geprägt. Nach einem späten Frühjahr trat eine längere Trockenperiode auf, die sich besonders negativ auf die Bestandesausbildung des Winterweizens und damit auf das spätere Ertragsniveau auswirkte. Sowohl Winterraps als auch die Wintergerste erreichten ein gutes Ertragsniveau. Die Erträge innerhalb der Schläge wurden hier stark von den Bodenunterschieden bestimmt. Im Vergleich zur einheitlichen Düngung erbrachte die variable Ausbringung bei allen drei Fruchtarten keine deutlichen Ertragsvorteile. Sie hatte jedoch positiven Einfluss auf die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs, wenn zu Beginn der Vegetation im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit verhalten angedüngt wurde. Der N-Sensor reagierte ausgleichend auf die zur ersten N-Gabe unterschiedlich vorgelegten

N-Mengen. Bei N-Mangel und zur Schaffung eines homogenen Pflanzenbestandes ist dies auch erwünscht.

Im Trockengebiet mit relativ stabilen Ertragszonen kann dies aber auch zu unnötig hohen N-Gaben in Bereichen mit schlechter Wasserversorgung und niedrigen Erträgen führen. Um auf den Teilflächen mit niedrigem Ertragspotenzial Stickstoffüberhänge zu vermeiden, ist zumindest eine Begrenzung der Höchstmenge nicht nur für den Gesamtschlag sondern für die jeweiligen Teilbereiche unerlässlich. Möglich wird dies durch Hinterlegung von entsprechenden Karten (Ertragspotenzial-, Boden- oder Leitfähigkeitskarten). Erst einmal bedeutet es sicher einen höheren Aufwand. Langfristig führt dies jedoch zu einer ausgewogeneren N-Versorgung und punktuell hohe N-Austräge lassen sich so vermeiden.

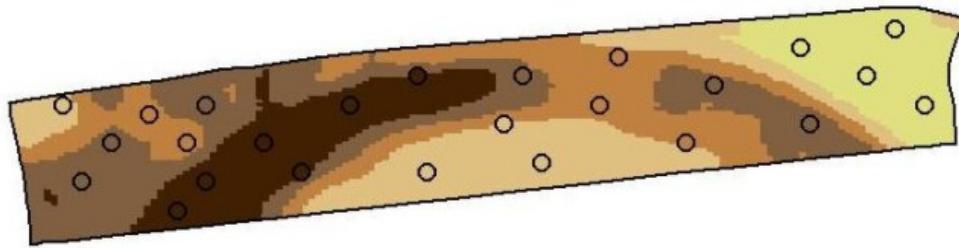
Weil es sich hier um einjährige Ergebnisse handelt, bedarf es unbedingt einer weiteren Überprüfung, um abschließende Aussagen treffen zu können. Wichtig ist in jedem Fall, dass auch andere Witterungs- und Anbaubedingungen einbezogen werden.

3.5 Einfluss von unterschiedlicher Leitfähigkeit auf die Nährstoffverlagerung

3.5.1 Ergebnisse der Tiefenbeprobung auf dem Schlag „Am Flugplatz“

Auf Grund seiner ausgeprägten Heterogenität stellt der Schlag „Am Flugplatz“ besondere Anforderungen an die Bewirtschaftung. Auf etwa 38 ha sind hier von lehmigem Sand bis zum tonigen Lehm sehr unterschiedliche Bodenarten vergesellschaftet. Unter Punkt 3.2 wurde die Ertragsituation der letzten Jahre vorgestellt, bei der ein enger Zusammenhang zwischen den Bodenunterschieden, erfasst in Form der Leitfähigkeit, und den erzielten Erträgen sichtbar wurde. Die durchgeführten Tiefenbeprobungen hatten das Ziel, die Auswirkungen der Heterogenität auf den Nährstoffstatus bis unterhalb der Wurzelzone näher zu beleuchten. Ein Schwerpunkt war das Nitrat und seine mögliche Anreicherung im Unterboden. Die an den Proben durchgeführten Untersuchungen dienten aber auch dazu, den Boden und die Nährstoffdynamik der verschiedenen Teilflächen besser zu charakterisieren.

In Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Bodens wurde an markanten Stellen des Schlages Proben in der Schichtstärke von 30 cm bis in die Tiefe von 330 cm vorgenommen (Abb. 95). Die Bohrkern hatten einen Durchmesser von 8 cm. Auf eine tiefere Beprobung musste verzichtet werden, da auf einigen Schlagteilen ab 300 cm Tiefe Schichtwasser anstand. Das erschwerte die exakte Probenentnahme. Zu erwarten war aber auch, dass im Bereich des Schichtwassers die bodenbedingten Unterschiede verwischt werden.



Probenahmepunkte in den Leitfähigkeitsklassen (mS/m)

●	3.2 - 7.9	●	7.9 - 15.4
●	15.4 - 22.3	●	22.3 - 28.7
●	28.7 - 36.6		

Abbildung 95: Lage der Probenahmepunkte in den jeweiligen Leitfähigkeitsklassen für die Tiefenbeprobung auf dem Schlag „Am Flugplatz“ im Oktober 2006

An ausgewählten Proben wurden Körnungsanalysen vorgenommen. Von Interesse war dabei erst einmal die Tiefe bis 150 cm, die unter optimalen Bedingungen vom Wurzelsystem verschiedener Kulturpflanzen erschlossen werden. Das ist aber auch die Bodentiefe, die in etwa von der Leitfähigkeitmessung mit dem EM 38 erfasst wird.

Die Ergebnisse machen die deutlichen Unterschiede in der Körnungszusammensetzung sichtbar. Die deutlichen Abstufungen in der Leitfähigkeit spiegeln sich im mittleren Gehalt an Ton, Schluff und Sand wider (Abb. 96). Mit steigender Leitfähigkeit nimmt der Sandanteil kontinuierlich ab und der Ton- und Schluffanteil zu. Abbildung 97 gibt den engen Zusammenhang zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem mittleren Tongehalt der Bodentiefe von 0 – 150 cm wieder. Eine Schwäche der Leitfähigkeitsmessung mit dem EM 38 ist, dass es sich um einen Summenparameter ohne Aussagen über die vorhandene Schichtung handelt (vgl. LÜCK u. a., 2002). Ein typischer Beleg dafür sind die Tongehalte der einzelnen Bodenschichten am Probenpunkt ECa¹ 9,1 bzw. ECa 17,4 in Abbildung 98. Im Einzelnen handelt es sich dabei um Mittelwerte verschiedener Probenpunkte in den entsprechenden Leitfähigkeitsklassen.

¹ ECa - apparent electrical conductivity

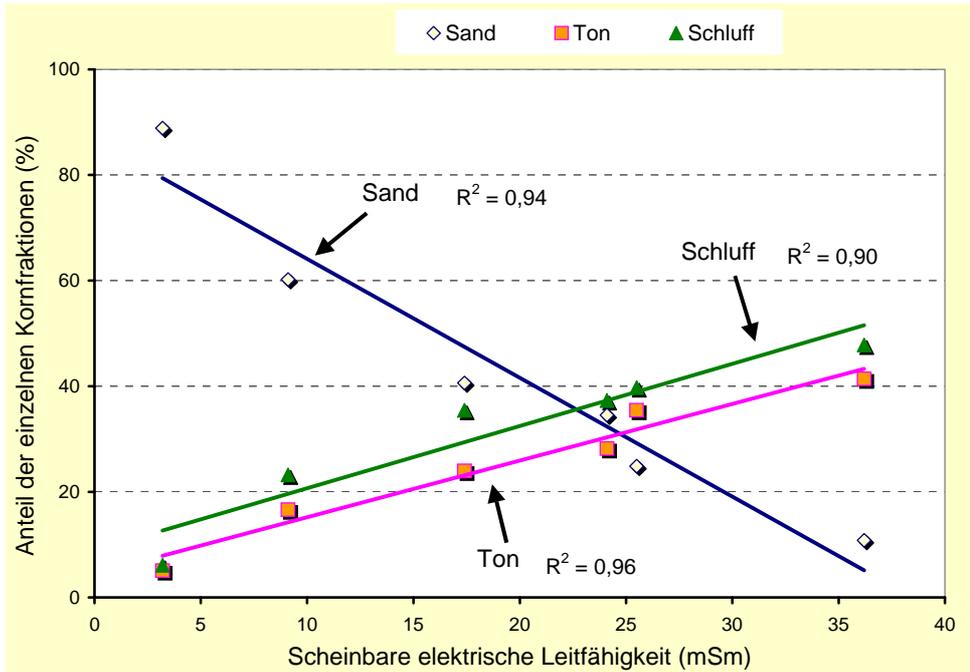


Abbildung 96: Leitfähigkeit des Bodens und die Zusammensetzung der Kornfraktionen im Mittel der Bodentiefe von 0 bis 150 cm auf dem Schlag „Am Flugplatz“

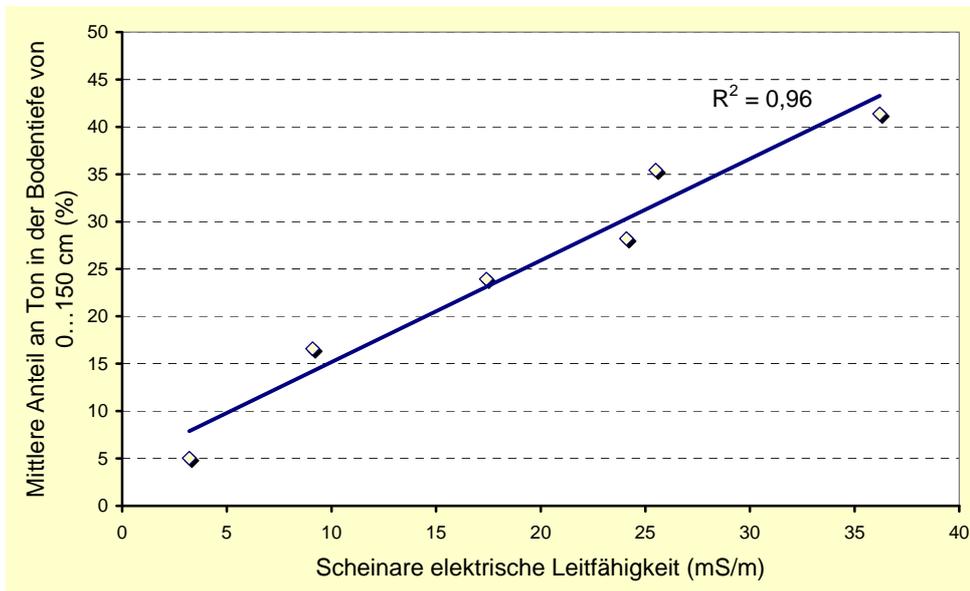


Abbildung 97: Beziehung zwischen dem mittleren Tongehalt in 0 bis 150 cm Bodentiefe und der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM 38)

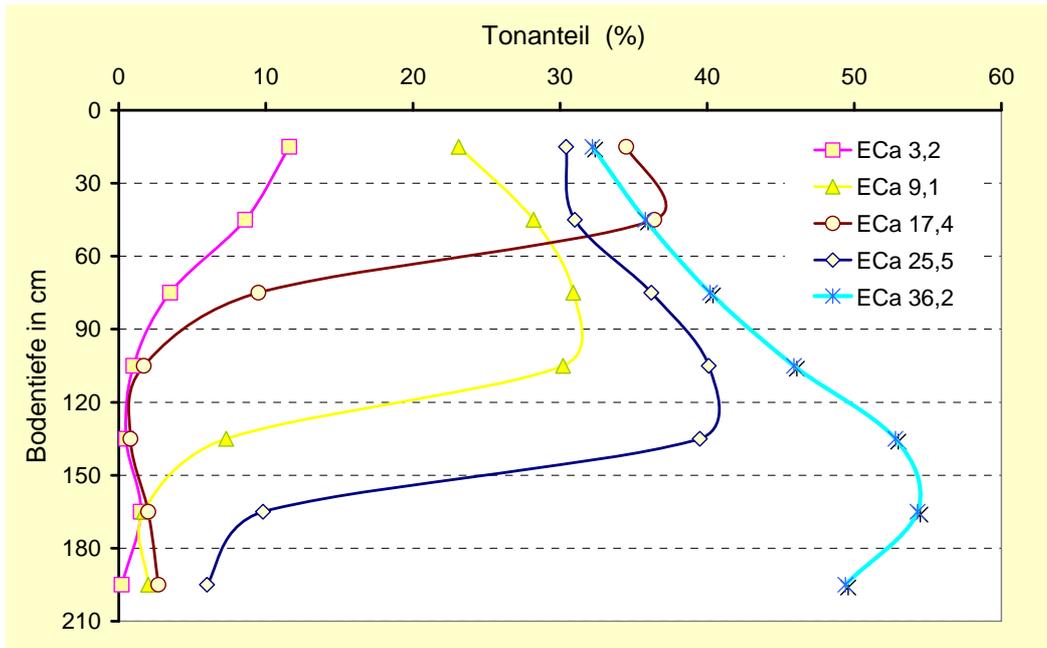


Abbildung 98: Tongehalt in den jeweiligen Bodentiefen bei unterschiedlicher Leitfähigkeit

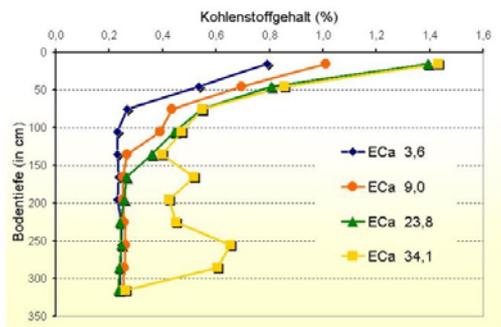


Abbildung 99: Kohlenstoffgehalt in den Bodenschichten bis in 330 cm Tiefe

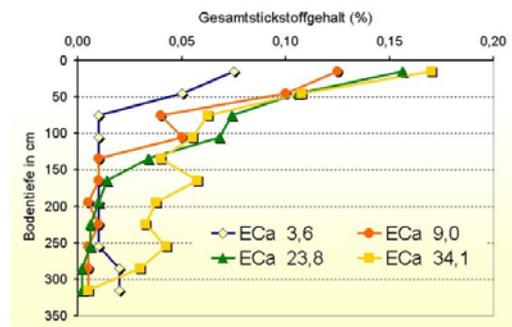


Abbildung 100: Gesamtstickstoffgehalt in den Bodenschichten bis in 330 cm Tiefe

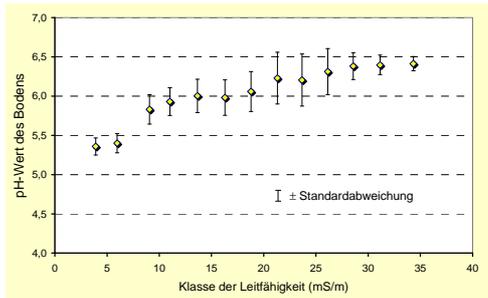


Abbildung 101: pH-Werte des Bodens in 0 - 30 cm Tiefe, Rasterbeprobung 1998

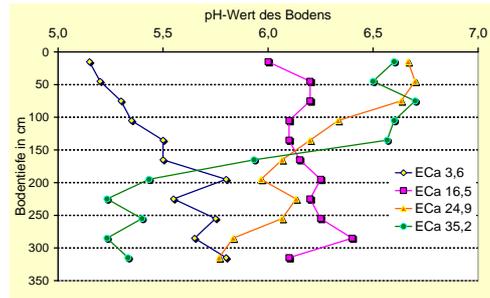


Abbildung 102: pH-Werte im Bodenprofil bis in 330 cm Tiefe in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit

Bereits aus den Ergebnissen der Rasterbeprobung im Jahr 2000 war die Differenzierung im Kohlenstoffgehalt der Ackerkrume bekannt. Die Tiefenbeprobung bestätigt diese Resultate (Abb. 99). Darüber hinaus wird deutlich, dass die Unterschiede sich im Unterboden fortsetzen. Im Bereich der hohen Leitfähigkeit (ECa > 30) bleibt er auch unterhalb von 200 cm Tiefe auf einem relativ hohen Niveau. Die Differenzierung der Kohlenstoffgehalte findet ihre Bestätigung durch die für den Gesamtstickstoff ermittelten Werte (Abb. 100).

Die Verhältnisse beim pH-Wert der Ackerkrume wurden bereits durch die Rasterbeprobung im Jahr 1998 (Abb. 101) aufgezeigt. Sie lassen eine deutliche Abhängigkeit von den Bodenunterschieden erkennen. Im Bereich niedriger und hoher Leitfähigkeit sind die Werte mit einer deutlich geringeren Standardabweichung als im mittleren Bereich verbunden. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Körnungsanalyse ist festzustellen, dass die Heterogenität der Ackerkrume sich nicht immer in den Leitfähigkeitswerten widerspiegelt.

Die pH-Werte unter 6,0 auf den Teilflächen mit niedriger Leitfähigkeit sind das Resultat des geringen Puffervermögens und des mit dem Sickerwasser ausgetragenen Kalziums. Betroffen davon sind natürlich die sandigen Flächenanteile. An Hand der Werte aus der Tiefenbeprobung (Abb. 102) wird sichtbar, dass sich die Unterschiede der Ackerkrume bis in etwa 120 cm Tiefe fortsetzen. Im Unterboden werden diese Unterschiede teilweise aufgehoben. Lediglich im Bereich hoher Leitfähigkeit, also im Unterboden des Lehms und des tonigen Lehms, sinkt der pH-Wert stärker ab. Im Zusammenhang mit den vorhandenen anaeroben Verhältnissen sowie den Kohlenstoffgehalten dürfte ein beachtliches Denitrifikationspotenzial vorliegen (SCHLEGEL, 1992).

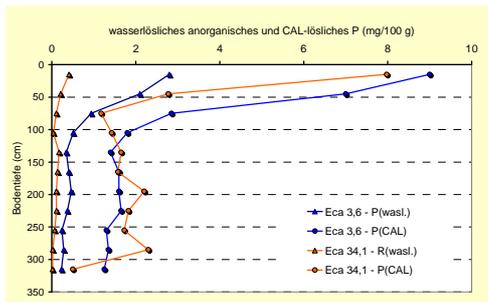


Abbildung 103: Verschiedene P-Fractionen im Bodenprofil bis in 330 cm Tiefe bei hoher und niedriger Leitfähigkeit

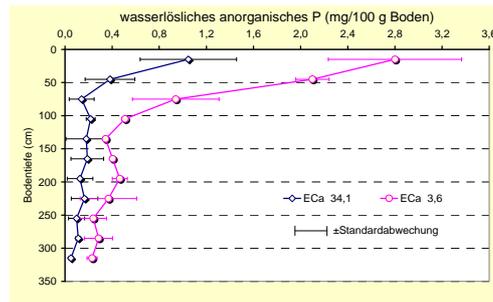


Abbildung 104: Wasserlösliches P in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe bei hoher und niedriger Leitfähigkeit

Die stabilen Ertragsmuster haben bei einheitlicher Düngung des Schläges mit Grundnährstoffen dazu geführt, dass sich deutliche Unterschiede in den Gehalten eingestellt haben. Beim allgemein weniger von Verlagerungsprozessen betroffenen Phosphat hat dies zu einer Anreicherung beispielsweise der CAL-löslichen Fraktion in den ertragsschwachen Teilflächen geführt (Abb. 103). Davon betroffen ist auch der wasserlösliche anorganische P-Anteil. Er ist im Bereich des lehmigen Sand bis in den Unterboden deutlich gegenüber dem Lehm und tonigen Lehm erhöht (Abb. 104). Die gute Wasserlöslichkeit des Phosphats auf den sandigeren Teilflächen birgt allerdings auch die Gefahr des Phosphataustrags, weil selbst unter den trockenen Standortbedingungen in Köllitsch auf diesen Schlagteilen regelmäßig Sickerwasser anfällt. Der jährliche Austrag aus der Bodenschicht 0 – 100 cm betrifft nach überschlägiger Berechnung etwa drei kg P/ha. Nicht berücksichtigt wird dabei allerdings der Anteil der löslichen organischen P-Verbindungen. Weil die Grundnährstoffversorgung in Köllitsch weitgehend über organische Dünger abgedeckt wird, dürfte der Anteil zumindest die gleiche Größenordnung erreichen.

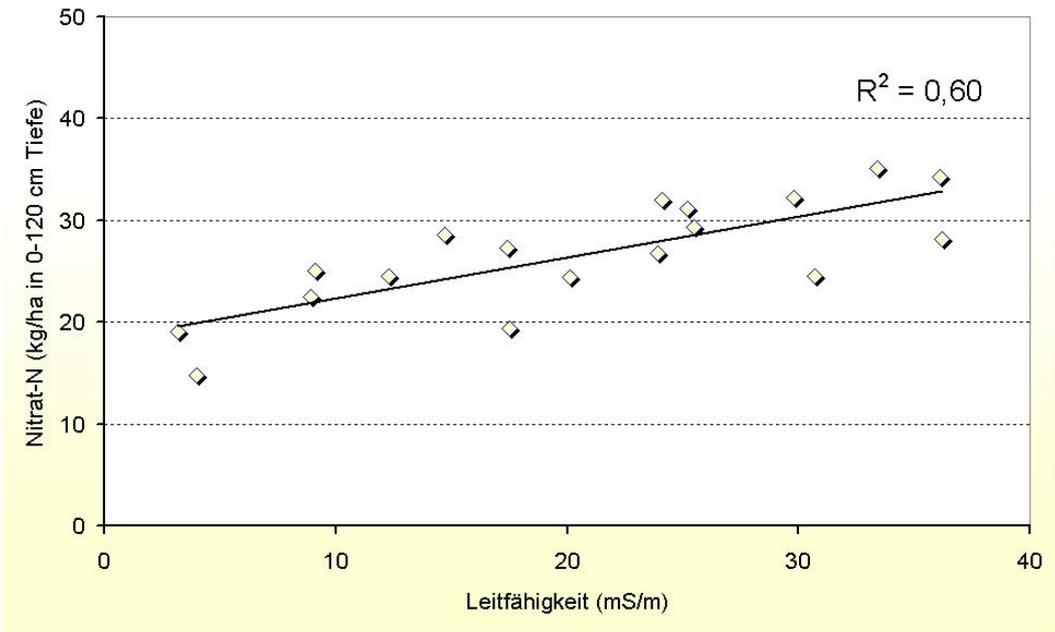


Abbildung 105: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem Nitrat-N im Wurzelbereich im Oktober 2006

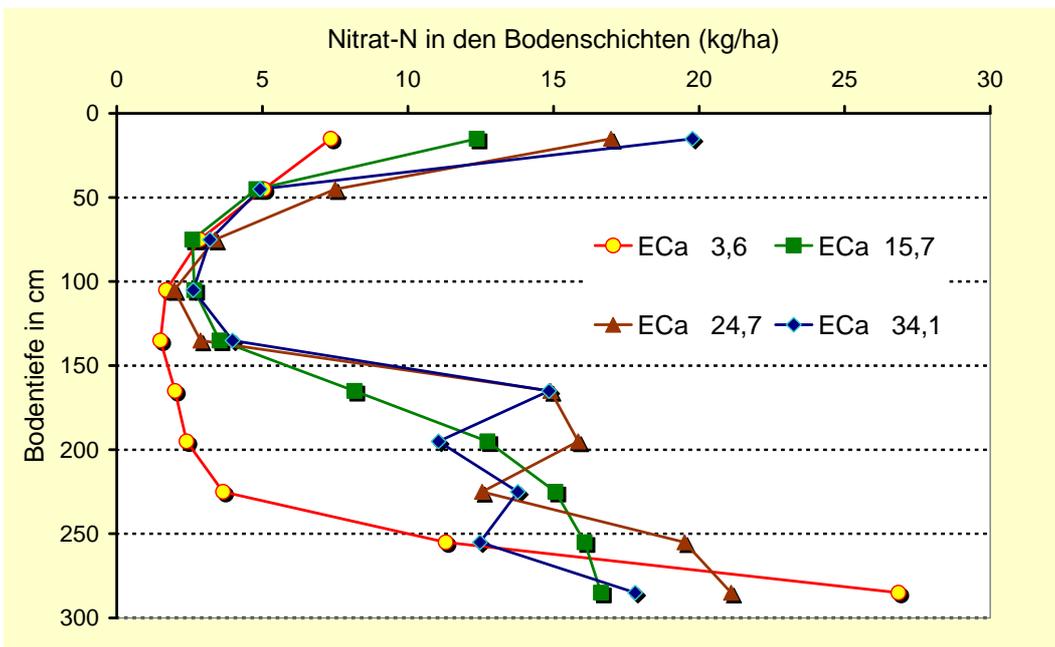


Abbildung 106: Nitrat-N in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe bei unterschiedlicher Leitfähigkeit

Der in der Bodenschicht bis 120 cm Tiefe ermittelten Nitrat-N war auf einem niedrigen Niveau (Abb. 105). Er weist jedoch eine enge Beziehung zur Leitfähigkeit auf. In der Abbildung sind die jeweiligen Einzelproben dargestellt. Für die Darstellung der Verhältnisse innerhalb der einzelnen Bodenschichten wurden die Werte entsprechend der Leitfähigkeitsklasse gemittelt (Abb. 106). Die Unterschiede betreffen neben der Ackerkrume vorwiegend die Bodenschichten unterhalb der Tiefe von 150 cm. In der Summe der Schichten handelt es sich um 80 bis 115 kg Nitrat-N/ha.

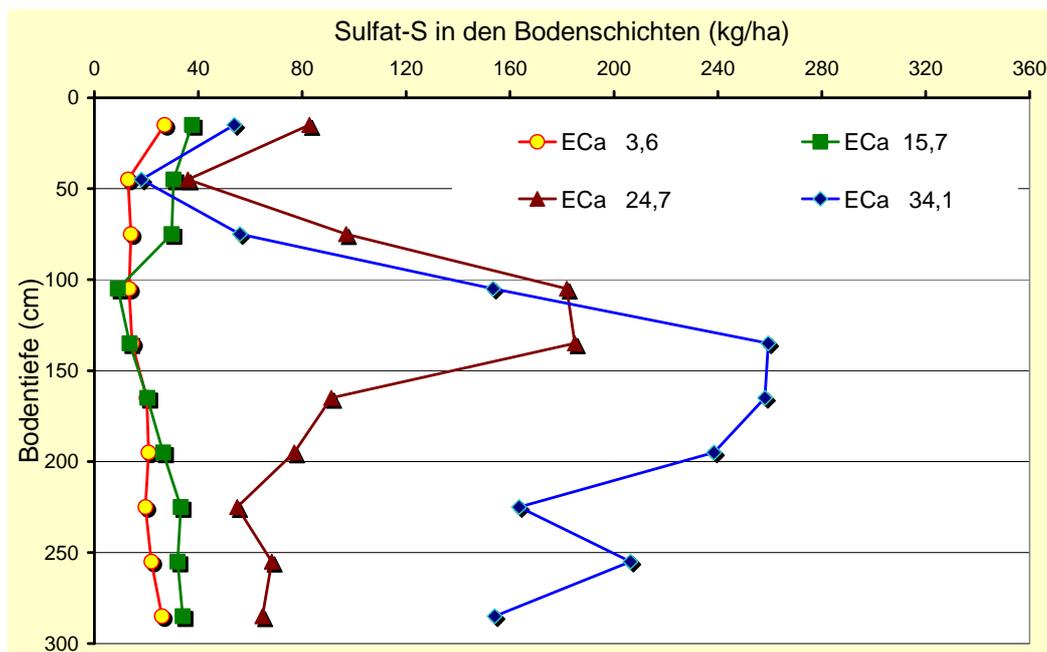


Abbildung 107: Sulfat-S in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe bei unterschiedlicher Leitfähigkeit

Ein prägnantes Bild ergibt sich für das Sulfat (Abb. 107). Es verhält sich im Boden ähnlich wie Stickstoff in der Nitratform. Es wird nicht an Tonminerale gebunden und kann durch anfallendes Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Zwar unterliegt es unter anaeroben Bodenbedingungen auch biologischen Abbauprozessen, aber bei Vorhandensein von Nitrat wird letzteres von den Mikroorganismen bevorzugt und die Sulfatreduktion bleibt begrenzt.

Zwischen den niedrigen Leitfähigkeitsklassen einerseits und den höheren andererseits finden sich gravierende Unterschiede. Das betrifft sowohl die insgesamt vorhandenen Mengen als auch deren Verteilung in den jeweiligen Bodenschichten. Während auf den Teilflächen mit lehmigem Sand als Summe in der beprobten Bodentiefe etwa 200 kg S_{min} /ha vorhanden sind, haben sich unter dem

Lehm über 3000 kg S_{min}/ha über die Jahre angesammelt. Seinen Ursprung hat dieser hohe Sulfatgehalt vornehmlich durch Mineralisation der organischen Bodensubstanz sowie aus der Zufuhr durch die regelmäßige organische Düngung und den über vielen Jahrzehnten hohen Schwefeldepositionen. Zudem wurden zu DDR-Zeiten häufig sulfathaltige Dünger wie Ammoniumsulfat und Superphosphat eingesetzt. Weil die Zufuhr immer einheitlich erfolgte, belegen die Sulfatgehalte, dass selbst bei den begrenzten Niederschlagsmengen auf den sandigeren Schlagteilen beachtliche Verlagerungsprozesse auftreten.

Die Mengen an Nitrat-N in den jeweiligen Bodenschichten geben natürlich noch keine Auskunft über die Nitratkonzentration in der Bodenlösung. Zu diesen Zwecken erfolgte eine Umrechnung in Nitrat unter Einbeziehung des in den jeweiligen Schichten vorhandenen Bodenwassers (Abb. 108). Bei der Beurteilung der Werte muss bedacht werden, dass zwischen der Ernte und der Beprobung im Oktober der in der Vegetationszeit verbrauchte Bodenwasservorrat noch nicht wieder aufgefüllt wurde. Davon betroffen ist etwa die Bodentiefe von 150 ... 180 cm. Nach dem Auffüllen der Feldkapazität wird hier ein deutlicher Verdünnungseffekt auftreten. Unterhalb von 200 cm sollte in jedem Fall das Wasserhaltevermögen des Bodens voll aufgefüllt sein. Die Nitratkonzentration der Bodenlösung steigt hier deutlich über die von der Wasserrahmenrichtlinie geforderten 50 mg/l. Einen deutlichen Unterschied zwischen den verschiedenen Böden bzw. Leitfähigkeitsklassen ist nicht zu erkennen. In welchem Umfang das unterhalb von 300 cm aufgetretene Schichtwasser Einfluss nimmt, lässt sich nicht klären. Möglicherweise wird dieses Schichtwasser vom Wasserstand der nur wenige Kilometer entfernten Elbe beeinflusst.

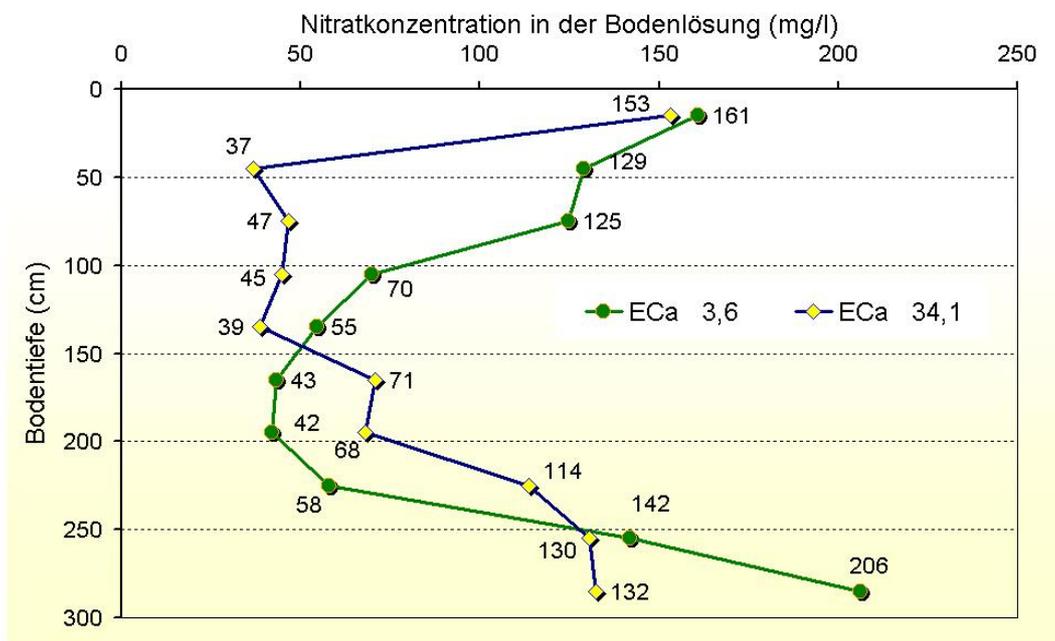


Abbildung 108: Nitratkonzentration in der Bodenlösung bis in 300 cm Tiefe bei unterschiedlicher Leitfähigkeit des Bodens

3.5.2 Ergebnisse der Tiefenbeprobung auf dem Schlag „122.22“

Auf dem Schlag 122.22 wurden im Oktober 2006 an vier Stellen Bohrkern bis in eine Tiefe von 330 cm in 30 cm Schichten entnommen (Abb. 109). Sie weisen wie auf dem Schlag „Am Flugplatz“ eine beachtliche Differenzierung auf (Abb. 110). Im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit setzt unterhalb der Pflugfurche ein bis unter 300 cm Tiefe reichender ton- und schluffarmer Sandhorizont ein. Unter den Teilflächen mit hoher Leitfähigkeit erstreckt sich der schluffreiche Lehm über die gesamte Probenahmetiefe. Bemerkenswert ist, dass unterhalb von 270 cm eine zunehmende Schwarzfärbung des Bodens (besonders am Probenpunkt 4) zu beobachten war. Das spiegelt sich sowohl in den Gesamtkohlenstoffgehalten als auch in den Gesamtstickstoffgehalten dieser Proben wider (Abb. 111 und 112). Hohe Leitfähigkeit war insgesamt mit erhöhten C_T - und N_T -Werten in den jeweiligen Schichten verbunden. Die engen C/N-Verhältnisse bei den Proben mit dem ECa 66,4 lassen vermuten, dass ein Teil des Stickstoffs als Ammonium-N in den Zwischenschichten der Tonminerale gebunden ist.

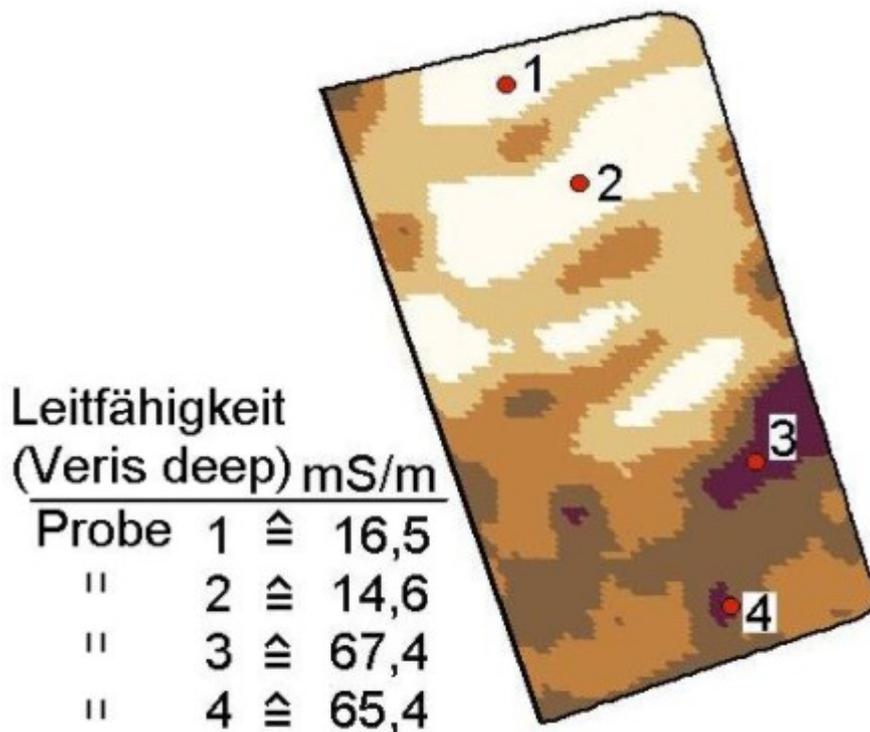


Abbildung 109: Probenpunkte der Tiefenbeprobung auf dem Schlag 122.22



Abbildung 110: Bohrkern aus 0 ... 120 cm Tiefe bei niedriger und hoher Leitfähigkeit

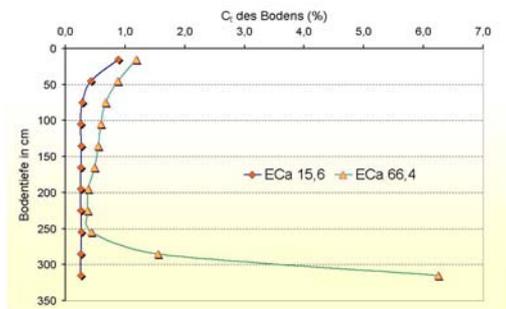


Abbildung 111: C_t in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe bei unterschiedlicher Leitfähigkeit

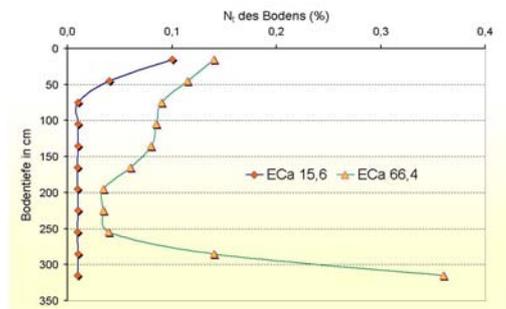


Abbildung 112: N_t in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe bei unterschiedlicher Leitfähigkeit

Deutliche Parallelen sind beim CAL-löslichen Kalium und Phosphat vorhanden. Hohe Leitfähigkeit war in der Bodentiefe von 0 – 60 cm jeweils mit einem niedrigen Gehalt dieser Nährstoffe verbunden. Bei einheitlicher Düngung ist diese Differenzierung das Resultat regelmäßiger Ertragsunter-

schiede und den damit einhergehenden Entzügen. Im Unterboden sind dann die Verhältnisse umgekehrt und durch das unterschiedliche Ausgangssubstrat des Bodens bedingt.

Die in den verschiedenen Bodenschichten vorhandenen Nitratmengen (Abb. 115) weisen in der Ackerkrume auf deutliche Unterschiede in der Ausnutzung des im Verlauf des Jahres ausgebrachten Dünger-N hin. Ertragsbedingt blieb auf der sandigen Teilfläche ein höherer Reststickstoffbetrag zurück. Im Unterboden ist tendenziell ein höherer Nitratanteil im Bereich des schluffigen Lehm-bodens. Für einen regelmäßigen und vollständigen Austrag der nicht an vorhandenen Sorptionsplätzen angelagerten Ionen auf den sandigen Teilflächen sprechen die Ergebnisse beim S_{min} (Abb. 116). Während sich an den Probenpunkten mit niedriger Leitfähigkeit insgesamt gerade einmal 106 kg S_{min} /ha fanden, sind es im Bereich der hohen Leitfähigkeit mehr als 2 800 kg S_{min} /ha. Das unterhalb der Tiefe von 150 cm vorhandene Peak lässt erkennen, dass bei hohem Wasserspeichervermögen der Austrag vorwiegend auf die Bodentiefe von 100 bis 120 cm beschränkt bleibt. Treten allerdings in einzelnen Jahren hohe Winterniederschläge auf, werden die im Unterboden angereicherten Ionen weiter in die Tiefe verfrachtet.

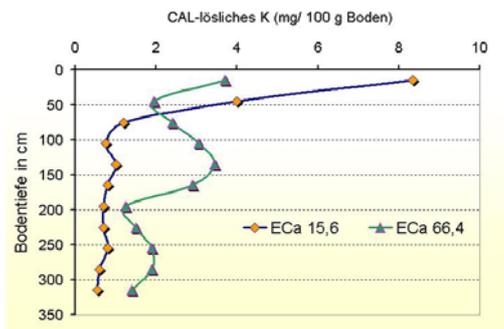


Abbildung 113: CAL-lösliches K in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe

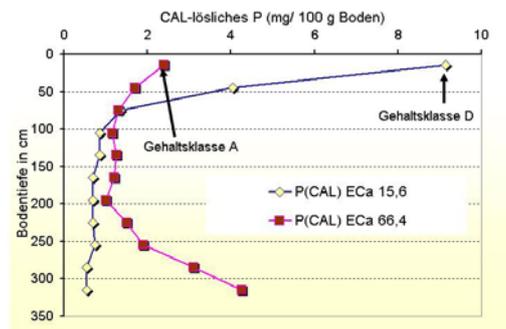


Abbildung 114: CAL-lösliches P in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe

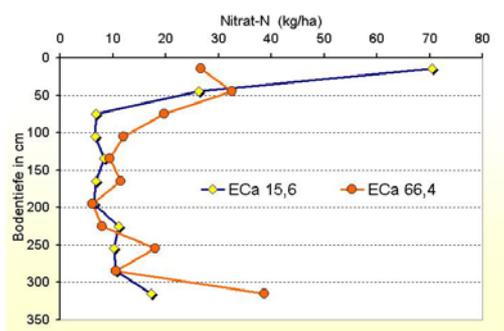


Abbildung 115: Nitrat-N in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe

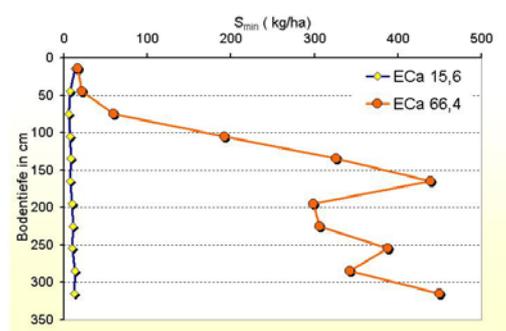


Abbildung 116: Sulfat-S in den Bodenschichten bis 330 cm Tiefe

Für die Nitratkonzentration in der Bodenlösung (Abb. 117) muss auch hier darauf verwiesen werden, dass im Oktober die im Verlauf der Vegetation verbrauchten Wassermengen noch nicht aufgefüllt wurden. Durch die Winterniederschläge sollte sich besonders bei hoher Leitfähigkeit bis zur Tiefe von 150 cm eine Verdünnung ergeben. Bedenklich sind in jedem Fall die hohen Konzentrationen unterhalb dieser Tiefe.

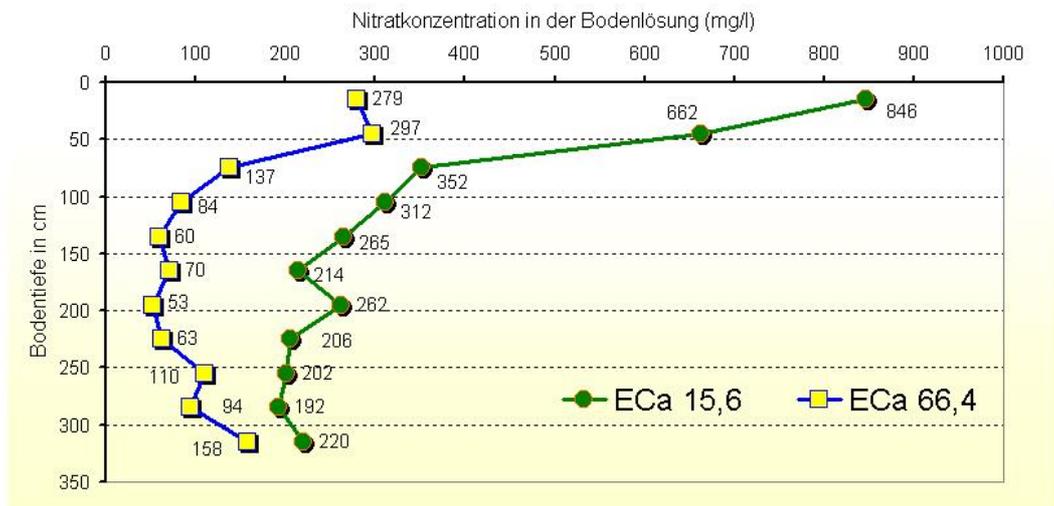


Abbildung 117: Nitratkonzentration in der Bodenlösung der jeweiligen Bodenschichten bei unterschiedlicher Leitfähigkeit auf dem Schlag 122.22

3.5.3 Fazit

Für die Beurteilung des Nährstoffstatus werden regelmäßige Bodenuntersuchungen empfohlen. Sie bleiben zumeist auf die Ackerkrume bzw. die obersten Dezimeter beschränkt. Das ist nur ein Bruchteil des von den Kulturpflanzen genutzten Bodenvolumens. Der Einfluss der obersten Bodenschicht auf die gesamte ungesättigte Zone ist jedoch beachtlich. Nicht gebundene Niederschläge fließen als Sickerwasser ab und tragen die darin gelösten Stoffe in den Unterboden. Für den Pflanzenbestand sind sie verloren, wenn sie sich unterhalb des Wurzelraums befinden und auch nicht mehr mit dem kapillaren Wasseranstieg dahin zurück gelangen. Ist dies erst geschehen, besteht die Gefahr, dass sie früher oder später ins oberflächennahe Grundwasser gelangen.

Durch Tiefenproben lassen sich die Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf Nähr- und Schadstoffbewegung sichtbar machen. Mit den hier vorgestellten Untersuchungen wurden mehrere Ziele verfolgt. Erst einmal dienten die Ergebnisse dazu, ein besseres Verständnis im Hinblick auf die Heterogenität des Bodens zu erhalten. Von besonderem Interesse war dabei, wie sich die Verhältnisse bis unterhalb des Wurzelraums gestalten. Auf Grund seiner Umweltrelevanz lag bei den Pflanzennährstoffen das Augenmerk besonders beim Nitrat.

Die Körnungsanalysen an Proben vom Schlag „Am Flugplatz“ haben aufgezeigt, wie ausgeprägt die Unterschiede innerhalb eines Ackerschlagel sein können. Weil die Zusammensetzung der Kornfraktionen einen wesentlichen Einfluss auf das vorhandene Porensystem sowie das Haltevermögen für Wasser und Nährstoffe hat, liegen hier die Gründe für die beachtliche und regelmäßige Ertragsdifferenzierung. Die bestehenden Unterschiede innerhalb des Schlagel werden sehr gut durch die elektrische Leitfähigkeit wiedergegeben.

Die Flächenanteile mit niedriger Leitfähigkeit weisen hohe Gehalte an Grundnährstoffen auf. Das reicht bis weit in den Unterboden hinein. Ursache dafür ist das niedrige Ertragsniveau und eine auf den Bedarf der ertragsstarken Teilflächen ausgerichtete Zufuhr. Am Beispiel des wasserlöslichen anorganischen Phosphats wird deutlich, dass diese Anreicherung zu einer höheren Mobilität geführt hat. Unter diesen Bedingungen führt das sowohl zur Anreicherung im Unterboden als auch zu erhöhten P-Austrägen. Das trifft auch für die übrigen Hauptnährstoffe zu. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit der teilschlagspezifischen Ausbringung der Dünger. Problematisch ist dies, wenn wie im LVG Köllitsch die Versorgung der Böden mit Phosphor und Kalium vorwiegend über organische Dünger abgedeckt wird. Gerade auf den leichten Schlagteilen ist eine regelmäßige Zufuhr von organischer Substanz für die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit notwendig. Das verbessert auch das Wasserspeichervermögen. Anders sieht es bei der Gülle aus. Weil mit ihr nur eine geringe Menge an organischer Substanz, aber viele Nährstoffe zugeführt werden, kann hier eine teilschlagspezifische Düngung nützlich sein.

Die beachtlich hohen Sulfatpeaks unterhalb von 150 cm Tiefe im Bereich der hohen Leitfähigkeit weisen darauf hin, dass auf den Teilflächen mit ausreichender Wasserspeicherkapazität die Verlagerung von Anionen gering bleibt. Die in diesen Bodenschichten vorhandenen Sulfatmengen haben sich über Jahrzehnte angereichert. In einzelnen feuchten Jahren können sich diese Peaks jedoch auch weiter in die Tiefe bewegen. Auf den sandigen Schlagteilen wird dagegen das Sulfat zügig aus der beprobten Bodentiefe abtransportiert.

In ähnlicher Weise gestalten sich die Verhältnisse auch beim Nitrat. Unter den Teilbereichen mit niedriger Leitfähigkeit werden die zum Anfang des Winters vorhandenen Beträge mehr oder weniger vollständig ausgetragen. Einfluss darauf hat neben den Niederschlägen auch die jeweils angebaute Fruchtart. Eine gut entwickelte Winterung verbraucht Stickstoff und Wasser, somit bleibt unter den Standortbedingungen der Sickerwasseranfall gering. Der nur leichte Anstieg der Nitratmengen unterhalb der Tiefe von 150 cm zeugt davon, dass bei hoher Leitfähigkeit die N-Düngung weitgehend bedarfsgerecht erfolgt ist. Ob und in welchem Umfang die Denitrifikation einen Anteil an diesen geringen Nitratbeträgen hat, lässt sich aus diesen Ergebnissen nicht beurteilen.

Die zum Teil hohen Nitratkonzentrationen in den Bodenlösungen dürfen nicht überbewertet werden. Sie wurden nicht direkt in der Bodenlösung gemessen, sondern sind ein berechneter Wert aus den im Labor ermittelten Nitratmengen und den dazu bestimmten Wassergehalten. In den obersten

Schichten war zudem ein starkes Wasserdefizit vorhanden. Durch Auffüllen der Feldkapazität sollte noch eine starke Verdünnung erfolgen. Deshalb interessiert vor allem der Bereich unterhalb der Tiefe von 200 cm. Hier war die Feldkapazität weitgehend eingestellt.

Für den Schlag „Am Flugplatz“ ergeben sich keine eindeutigen Unterschiede zwischen den Leitfähigkeitsklassen. Vermutlich verwischt das teilweise unterhalb von 300 cm Tiefe anstehende Schichtwasser die Unterschiede. Deutlicher war das Bild auf dem Schlag „122.22“. Bei insgesamt höheren Nitratkonzentrationen sind die Werte im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit davon besonders betroffen.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Heterogenität des Bodens erschwert eine kleinräumige, bedarfsgerechte Stickstoffernährung. Verbunden ist dies mit flächenhafter Unter- bzw. Überversorgung innerhalb der Schlageinheiten. Das bringt einerseits für den Landwirt Einkommensverluste und andererseits führt das zumindest auf Teilflächen regelmäßig zu erhöhten Stickstoffverlusten. Selbst bei ausgeglichenen Schlagbilanzen kommt es dann zu punktuellen N-Überhängen mit erhöhter Gefahr von Nitrateinträgen ins Grundwasser.

Um dies zu vermeiden und entsprechend den Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie einen Beitrag zur Verbesserung der Gewässergüte zu leisten, ist stärker auf eine teilschlagspezifische Stickstoffdüngung zu orientieren. Dabei ist derzeit noch offen, mit welcher Strategie die besten Erfolge erzielt werden können. Unterschiedliche Boden- sowie Standortbedingungen erfordern auch verschiedene Vorgehensweisen.

Zur Heterogenität der Ackerschläge

Die Ertragsfähigkeit eines Standortes wird neben der Witterung vor allem vom Boden und seiner Tiefgründigkeit bestimmt. Hinter dem Begriff „Boden“ verbirgt sich eine große Vielfalt von Ausgangsmaterialien und von sehr unterschiedlicher Genese. Ein wichtiges Merkmal ist die Heterogenität, die stark von der Bodenbildung geprägt wird und zum Teil auf engstem Raum ein beachtliches Ausmaß erreicht.

Die trifft auch für die aus Auensedimenten entstandenen Böden im LVG Köllitsch zu, wie die Karte der Reichsbodenschätzung belegt. Bei der beachtlichen kleinräumigen Heterogenität scheint das für die Bodenschätzung verwendete Raster von 50 x 50 m noch zu groß, um es als Grundlage für teilschlagspezifische Maßnahmen zu nutzen.

Unter diesen Bedingungen bedarf es einer stärkeren Auflösung. Herkömmliche Schürfe bzw. Bodenbeprobungen mit anschließender intensiver Untersuchung wichtiger Bodenparameter liefern sicher die umfangreichsten Informationen. Sie sind jedoch aufwendig und teuer. Deshalb lassen sie sich nicht mit der notwendigen Probendichte realisieren.

Eine große Informationsdichte je Schlägeinheit kann bei angemessenen Kosten durch die Messung der elektrischen Leitfähigkeit erzielt werden. Die beiden gebräuchlichsten Verfahren (Gleichstrommessung beim Veris, elektromagnetische Messung beim EM 38) geben die Unterschiede sehr gut wieder. Die Bevorzugung des EM 38 im Bereich der Landwirtschaft ist sicher auf die einfache und kostengünstigere Handhabung zurückzuführen.

Zur Beziehung von Ertragsvariabilität und Bodenheterogenität

Die Ertragskartierung ist ein Herzstück der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung. Sie gibt Auskunft über die vorhandene Variabilität und die langfristige Entwicklung. Die alleinige Betrachtung von Einzeljahren kann schnell zu Fehlinterpretationen führen. Weisen die Ertragskarten regelmäßig die gleichen Muster auf, handelt es sich um räumlich stabile Ursachen. Das kann z. B. Bodenverdichtung oder Nährstoffmangel sein. In Trockenregionen rücken dann zumeist die Bodenunterschiede in den Vordergrund.

Die Schläge im LVG Köllitsch weisen in den meisten Jahren eine beachtliche Ertragsvariabilität auf. So zeigten sich bei Winterweizen beispielsweise Ertragsunterschiede von bis zu 40 dt/ha zwischen den Teilflächen mit hoher und niedriger Leitfähigkeit. Die größten Differenzierungen ergaben sich in den ertragreichen Jahren. Dabei handelt es sich insbesondere auf den großen Schlägen um sehr stabile Ertragsmuster. Verursacht werden sie durch das verfügbare Wasser, das selbst in den feuchteren ertragreichen Jahren den limitierenden Wachstumsfaktor darstellt.

Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass zumeist eine enge Beziehung zwischen Bodenleitfähigkeit und Ertrag besteht. In Gebieten mit ausreichenden Niederschlägen im Verlauf der Vegetation ist das nicht so ausgeprägt.

Aus den stabilen Ertragsmustern leiten sich folgende Schlussfolgerungen ab:

- Die Bewirtschaftung ist stärker auf das Potenzial der einzelnen Teilflächen auszurichten.
- Maßnahmen, die auf einen homogenen Bestand und einheitliche Erträge für den Gesamtschlag abzielen, sind unter den Niederschlagsverhältnissen nicht realistisch.
- Weil die Ertragsmuster eng mit Unterschieden der Leitfähigkeit korrelieren und somit auf Bodenunterschiede zurückzuführen sind, lassen sich daraus Managementzonen ableiten.
- Sie können für die Steuerung der einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Bearbeitung, Saatstärke oder den Einsatz der Grundnährstoffe dienen.

Variabilität des N_{\min} in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit

Ein Schwerpunkt im Projekt stellten die Untersuchungen zur Variabilität des N_{\min} dar. Im Mittelpunkt standen die Frage nach dem Ausmaß, dem zeitlichen Auftreten und der Beziehung zur elektrischen Bodenleitfähigkeit.

Die Untersuchungen fanden vom Spätsommer 2005 bis zum Frühjahr 2007 auf verschiedenen Ackerschlägen des LVG Köllitsch statt. Anhand der Leitfähigkeitskarten wurden georeferenzierte Messpunkte festgelegt und jeweils nach der Ernte, vor dem Winter und zu Beginn der Vegetation beprobt. In die Auswertung wurden zusätzlich Ergebnisse aus früheren Untersuchungen einbezogen.

Die Ergebnisse belegen die großen zeitlichen und räumlichen Unterschiede des N_{\min} innerhalb der Schlägeinheiten. Bei einer dem Ertragsniveau angepassten N-Düngung war der N_{\min} nach der Ernte auf einem niedrigen Niveau und zeigte keine Beziehung zur Leitfähigkeit. Konnte auf Grund der Niederschlagsituation das angestrebte Ertragsziel nicht erreicht werden, fanden sich höhere N_{\min} -Reste im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit. Unter Brache bzw. bei geringer N-Aufnahme der Winterungen sind vor Winter erste gerichtete Unterschiede vorhanden.

Die Beziehungen zwischen dem N_{\min} und der Leitfähigkeit des Bodens waren ausgangs des Winters am engsten. Das überrascht nicht, weil in der vegetationslosen Zeit im Wesentlichen die Sickerwasserbewegung die Veränderungen beim N_{\min} bewirkt. Sie ist auf den Schlagteilen mit höherem Sandanteil bzw. niedriger Leitfähigkeit bei gleichem Niederschlagsangebot natürlich größer.

Wie lassen sich die Ergebnisse für eine teilschlagspezifische N-Düngung nutzen?

- Ein allgemeingültiger Algorithmus lässt sich aus den vorliegenden Untersuchungen nicht ableiten. Dazu bedarf es einer breiteren Versuchsbasis (weitere Standorte mit anderen Anbaubedingungen).
- Die hohe Probenzahl und der Umfang der Einstiche zur sicheren Beurteilung der N_{\min} -Situation auf heterogenen Schlägen sind unter praktischen Bedingungen nicht realisierbar. Für die Erfassung der Differenzierung bietet sich jedoch an, auf den betreffenden Schlägen feste georeferenzierte Messpunkte einzurichten, die die typischen Bodenunterschiede bzw. Leitfähigkeitswerte widerspiegeln. Die ermittelten Werte fließen direkt in die N-Düngebedarfsermittlung ein. Auf der Basis vorhandener Boden- bzw. Leitfähigkeitskarten lassen sich dann Applikationskarten für eine differenzierte erste Gabe erstellen.
- Vorstellbar ist aber auch, dass wie üblich die N_{\min} -Gehalte für den Schlag als Durchschnittswert ermittelt werden und die daraus entstandene Düngungsempfehlung über Leitfähigkeitsklassen entsprechend differenziert wird. Diese N-Mengen fließen dann in die N-Applikationskarte ein.

Wie zwischen Leitfähigkeit und N_{\min} besteht auch zwischen Leitfähigkeit und S_{\min} ein enger Zusammenhang. Zwischen letzteren findet sich zumeist sogar ein höherer Korrelationskoeffizient zu allen Probenahmezeiten. Die große Differenzierung beim Schwefel macht auch deutlich, dass bei Nutzung von nichtschwefelhaltigen Düngern eine teilschlagspezifische Schwefeldüngung nötig ist.

Berücksichtigung der Variabilität des N_{\min} bei der teilschlagspezifischen N-Düngung

Innerhalb der Projektlaufzeit stand für diese Untersuchungen nur ein volles Vegetationsjahr zur Verfügung. Durchgeführt wurden sie auf fünf Schlägen des LVG Köllitsch. Zum Anbau kamen Winterraps, Wintergerste und Winterweizen. Auf allen Schlägen fand sich ausgangs des Winters eine Differenzierung im N_{\min} . Sie war allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt. Die drei Prüfglieder wurden mit Wiederholung als Streifenanlage angelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass im Mittel jedes Prüfgliedes der Flächenanteil jeder Leitfähigkeitsklasse etwa gleich groß war.

Neben einem konstanten gab es zwei variable Prüfglieder. Zur ersten N-Gabe wurde bei den variablen Gliedern in gegensätzlicher Weise auf die unterschiedlichen N_{\min} -Gehalte in den jeweiligen Leitfähigkeitsklassen reagiert. Während im ersten Fall die Unterschiede im N_{\min} -Gehalt durch die differenzierte erste N-Gabe belassen wurden, erfolgte im zweiten ein Ausgleich. Bei den späteren N-Gaben kam der Yara-N-Sensor mit seinen Regelfunktionen zum Einsatz.

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Die Erträge wurden stark von den Bodenunterschieden geprägt. Zwischen den Leitfähigkeitsklassen traten signifikante Unterschiede auf.
- Innerhalb der niedrigen Leitfähigkeitsklasse traten zwar vereinzelt signifikante Unterschiede zwischen den Prüfgliedern auf, ansonsten war das nicht der Fall.
- Die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs lässt sich durch die variable Düngung deutlich verbessern. Unter den trockenen Standortbedingungen war eine verhaltene Andüngung im Bereich niedriger Leitfähigkeit und geringerer N_{\min} -Menge von Vorteil. Auf Standorten, wo das Wasser nicht limitierender Faktor ist, sollte dies umgekehrt sein.
- Der N-Sensor reagierte auf die differenzierte erste N-Gabe ausgleichend. Besonders im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit mit geringen Wasserreserven und Erträgen führt das allerdings zu einem Überangebot. In zukünftigen Untersuchungen ist zu testen, ob durch Hinterlegung von Boden- oder Managementzonenkarten und Beschränkung der N-Mengen in den Niedrigtragsbereichen eine bessere Anpassung erreicht wird.

Einfluss der unterschiedlichen Leitfähigkeit auf die Nährstoffverlagerung

Auf zwei Schlägen wurden an markanten Stellen Proben bis in 330 cm Bodentiefe entnommen und ihr Nährstoffstatus untersucht. Von Interesse war dabei, wie sich in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit die Verhältnisse unterhalb der Wurzelzone gestalten.

An ausgewählten Proben wurden Körnungsanalysen durchgeführt. Sie belegen die beachtlichen Unterschiede in der Textur und den Zusammenhang zur Leitfähigkeit des Bodens.

Niedrige Leitfähigkeit in Verbindung mit geringem Ertragsniveau hat zu einer Anreicherung von Grundnährstoffen zum Teil bis in tiefere Schichten geführt. Damit verbunden ist eine deutlich höhere Mobilität im Boden, wie am Beispiel der wasserlöslichen anorganischen P-Fraktion sichtbar wird.

Derartige Anreicherungen sind dann selbst bei dem relativ unbeweglichen Phosphat mit höheren Austrägen verbunden.

Bei hoher Leitfähigkeit finden sich in den Bodenschichten unterhalb der Tiefe von 150 cm hohe Sulfatgehalte. Diese Anreicherung ist über Jahrzehnte erfolgt und Resultat des begrenzten Sickerwasseranfalls auf diesen Teilflächen. Anders sieht das in den sandigeren Bereichen aus. Bei gleicher Zufuhr verteilen sich die verbliebenen Reste über das gesamte Profil. Wie beim Sulfat sind die Verhältnisse auch beim Nitrat. Im Bereich der niedrigen Leitfähigkeit wird das verbliebene Nitrat recht schnell ausgetragen. Weil es zu keiner Anreicherung im Bereich hoher Leitfähigkeit kam, wurden im Bereich der hohen Leitfähigkeit die Nitratmengen relativ vollständig mit den Erträgen abgeföhren. Eine Ursache könnten hier allerdings auch Denitrifikationsverluste sein.

Die Untersuchungen an den Tiefenproben weisen noch einmal eindrucksvoll darauf hin, wie wichtig eine auf das Ertragspotenzial der Teilflächen abgestimmte Bewirtschaftung ist.

5 Literaturverzeichnis

- BEXTER, S. J., OLIVER, M. A. und GAUNT, J. (2003): A Geostatistical Analysis of Spatial Variation of Soil Mineral Nitrogen and Potentially Available Nitrogen Within an Arable Field, Precision Agriculture, Vol.4, S213-226
- CORWIN, D. L. and S. M. LESCH (2003): Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines; Agron. J. 95: S. 455–471
- GIEBEL, A., O. A., WENDROTH, H. I. REUTER, K.-CH. KERSEBAUM, and J., SCHWARZ, 2006: How representatively can we sample soil mineral nitrogen? J. Plant Nutr. Soil Sci. 2006, 169, S. 52–59
- LÜCK, E., M. EISENREICH, H. DOMSCH (2002): Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft. In: O. Blumenstein und H. Schachtzabel, Stoffdynamik in Geosystemen; Band 7, ISSN 0949 – 4731
- MUELLER, T. G., N. J. HARTSOCK, T. S. STOMBAUGH, S. A. SHEARER, P. L. CORNELIUS, und R. I. BARNHISEL (2003): Soil Electrical Conductivity Map Variability in Limestone Soils Overlain by Loess; Agron. J. 95: S. 496–507
- SCHLEGEL, H.G., (1992): Allgemeine Mikrobiologie. 7. Aufl. Thieme, Stuttgart. 634 S.
- SCHMIDHALTER, U. SELIGE, T. und BOBERT, J. (2004): Geophysikalische und fernerkundliche Ermittlung teilflächenspezifischer Ertragspotenziale auf der Grundlage des Wasserhaushalts; Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro; Abschlussbericht, Kap. 3: 239-291. Hrsg.: KTBL
- STENGE, R., E. PRIESACK und F. BEESE (1992) Räumliche Variabilität von N_{min} -Gehalten in einer Agrarlandschaft des Tertiären Hügellandes - Auswertung mit klassischer Statistik und Geostatistik. VDLUFA Schriftenreihe (35), 729-732
- SUDDUTH, K. A., N. R. KITCHEN, G. A. BOLLERO, D. G. BULLOCK, and W. J. WIEBOLD; (2003): Comparison of Electromagnetic Induction and Direct Sensing of Soil Electrical Conductivity Agron. J. 95: S. 472–482

Impressum

Herausgeber: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/

Autoren: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Dr. Wilfried Schliephake

Informationen über:
Dr. habil. Erhard Albert
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: 0341/9174-182
Telefax: 0341/9174-189
E-Mail: erhard.albert@smul.sachsen.de

Redaktion: siehe Autoren

Endredaktion: Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Anne-Christin Matthies-Umhau, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612 151
E-Mail: anne-christin.matthies@smul.sachsen.de

ISSN: 1861-5988

Redaktionsschluss: Dezember 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.