



Das Lebensministerium



Untersuchungen zur Teilflächenbewirtschaftung

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Heft 18/2006

Freistaat  Sachsen
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Untersuchungen zur Anwendung ausgewählter teilflächenspezifischer
Bewirtschaftungsmethoden am Beispiel eines Auenstandortes der Elbe**

Jens Ponitka, Dr. Jörg Pößneck

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Material, Methoden und Ergebnisse	1
2.1	Leitfähigkeitsmessung.....	3
2.1.1	Leitfähigkeitsmessung mit dem EM38.....	3
2.1.2	Aussagekraft der Leitfähigkeitsmessung mit dem EM38.....	5
2.1.3	Leitfähigkeitsmessung und Klassifizierung.....	6
2.2	Bodenuntersuchung	9
2.2.1	Mineralischer Stickstoffgehalt im Boden (N_{\min}).....	9
2.2.2	Der pH-Wert sowie Phosphor- Kalium-, Magnesium-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Bodenschicht 0 - 20 cm	13
2.2.3	Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Bodenuntersuchungsergebnis	17
2.3	Feldspektroskopische Messungen zur Stickstoffdüngung.....	18
2.3.1	Erste Stickstoffgabe	19
2.3.2	Zweite Stickstoffgabe	20
2.3.3	Dritte Stickstoffgabe	25
2.4	Kornertragskartierung	27
2.4.1	Verwendete Systeme zur Kornertragskartierung.....	28
2.4.2	Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Kornertrag.....	28
3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	32

Abbildungen

Abbildung 1: Geologischer Profilschnitt von westlich Köllitsch (Nördl. Kartenrand) nach Südosten über Belgern (Quelle: Preußische Landesaufnahme 1930, Blatt Belgern, verändert)	2
Abbildung 2: Lage der untersuchten Schläge im LVG Köllitsch (Projektion Gauß-Krüger).....	3
Abbildung 3: Messprinzip des EM38 zur Bestimmung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (aus: www.agricon.de)	4
Abbildung 4: Karte der Leitfähigkeitsmessungen mit EM38 [mS/m], Schlag „Am Park“ (Projektion Gauß-Krüger).....	6
Abbildung 5: Bodenprofil „Am Park“ auf hohem E _{Ca} -Wert (55 mS/m) mit schematischer Ansprache der Horizonte (Tiefenangaben in cm)	7
Abbildung 6: Bodenprofil „Am Park“ auf niedrigem E _{Ca} -Wert (36 mS/m) mit schematischer Ansprache der Horizonte (Tiefenangaben in cm)	7
Abbildung 7: Karte der Leitfähigkeitsmessungen mit EM38 [mS/m], Schlag „Am Flugplatz“ (Projektion Gauß-Krüger).....	8
Abbildung 8: Karte der Leitfähigkeitsmessungen mit EM38 [mS/m], Schlag „Schwarzacker“ (Teilschlag 121.31), Projektion WGS84	9
Abbildung 9: N _{min} -Bodenprobenahmepunkte auf dem Schlag „Am Park“ in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (EM38), Projektion Gauß-Krüger	10
Abbildung 10: N _{min} -Bodenprobenahmepunkte auf dem Schlag „Am Flugplatz“ in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (EM38), Projektion Gauß-Krüger	10
Abbildung 11: N _{min} in 0 - 60 cm zu drei Terminen in Abhängigkeit zur elektrischen Leitfähigkeit, Schlag „Am Flugplatz“.....	12
Abbildung 12: N _{min} in drei Tiefenschichten „Am Park“ (Februar 2005) in Abhängigkeit zur elektrischen Leitfähigkeit (EM38), lineare Trends mit Bestimmtheitsmaß.....	13
Abbildung 13: Punkte der Bodenprobenahme, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84)	14
Abbildung 14: Anteile und Verteilung der pH-Klassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84).....	14
Abbildung 15: Anteile und Verteilung der P-Gehaltsklassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84).....	15
Abbildung 16: Anteile und Verteilung der K-Gehaltsklassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS 84).....	15
Abbildung 17: Anteile und Verteilung der C _{gesamt} -Klassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84).....	16
Abbildung 18: Anteile und Verteilung der N _{gesamt} -Klassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84).....	16
Abbildung 19: Konzept des N-Sensors zur Ermittlung angepasster Düngermengen (aus: LUDOWICY et al. 2002)	18

Abbildung 20: Ergebnis der N _{min} -Bodenuntersuchung 0-60 cm [kg/ha] vom 18.02.2005, Schlag 121.3 (Projektion WGS84)	19
Abbildung 21: Ergebnis zur Höhe und Verteilung der ersten N-Gabe [kg/ha N], Schlag 121.3 (Projektion WGS84).....	20
Abbildung 22: Karte der Biomasseindexmessung mit dem N-Sensor und Stickstoffdüngung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe zu Winterweizen 2004, Schlag „Am Flugplatz“ (Projektion WGS84)	21
Abbildung 23: Zusammenhang der Biomasseindexmessung mit dem N-Sensor zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe 2004 zu Winterweizen und elektrischer Leitfähigkeit (EM38), Schlag „Am Flugplatz“	22
Abbildung 24: Anlageschema für den Variantenvergleich in Winterweizen (Projektion WGS84).....	23
Abbildung 25: Karte der Biomasseindexmessung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84).....	24
Abbildung 26: Karte der N-Düngung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84)	24
Abbildung 27: Karte der Biomasseindexmessung zum Zeitpunkt der dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84).....	26
Abbildung 28: Karte der N-Düngung zum Zeitpunkt der dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84)	26
Abbildung 29: Ertragskarte für 2004 (Winterweizen, Frischmasse), Schlag „Am Flugplatz“ (Projektion: WGS84).....	28
Abbildung 30: Ertrag und elektrische Leitfähigkeit an den Probenahmepunkten (Radius 20 m), Schlag „Am Flugplatz“	30
Abbildung 31: Ertragskarte für 2004 (Winterraps, Frischmasse), Schlag „Am Park“ (Projektion: WGS84).....	31

Tabellen

Tabelle 1:	Untersuchte Schläge im LVG Köllitsch	2
Tabelle 2:	Klasseneinteilung der EC _a -Werte [mS/m] der auf N _{min} untersuchten Schläge	9
Tabelle 3:	N _{min} (kg/ha) in 0-90 cm in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse und Termin, Schlag „Am Flugplatz“	11
Tabelle 4:	N _{min} (kg/ha) in 0 - 90 cm in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse und Termin, Schlag „Am Park“	12
Tabelle 5:	Korrelation der Bodenuntersuchungsergebnisse und der EM38- Leitfähigkeitsmessung	17
Tabelle 6:	Korrelationen zur zweiten Stickstoffgabe, 2004 Winterweizen und 2005 Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“	22
Tabelle 7:	Statistische Maßzahlen der zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31	25
Tabelle 8:	Korrelationen zur zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31	25
Tabelle 9:	Statistische Maßzahlen zur dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31	27
Tabelle 10:	Korrelationen zur dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31	27
Tabelle 11:	Ertrag in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (hoch, mittel, niedrig) und Erntejahr, Schlag „Am Flugplatz“	29
Tabelle 12:	Ertrag in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (hoch, mittel, niedrig) und Erntejahr, Schlag „Am Park“	31
Tabelle 13:	Ertrag in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (hoch, mittel, niedrig) 2005, Schlag 121.31	32

1 Einleitung und Zielstellung

Heterogene Schläge weisen boden- und reliefbedingt mehr oder weniger starke, kleinräumige Unterschiede der Bodeneigenschaften auf. Die physikalischen Eigenschaften von Böden bestimmen nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) die primären Wachstumsbedingungen für jede Vegetation. Dies führt neben bewirtschaftungsbedingten Einflüssen zu inhomogen aufgebauten Pflanzenbeständen, differenzierten Erträgen und unterschiedlichen Ausprägungen der Pflanzenqualitätsmerkmale. Einheitliche Bewirtschaftungsmaßnahmen sind auf eine durchschnittliche Standortqualität abgestimmt. Dadurch werden Ertrags- und Qualitätspotenziale nicht ausgeschöpft. Unter- oder Überversorgung einiger Bereiche des Schlages können nicht ausgeschlossen werden. Die Landmaschinenindustrie bietet zahlreiche technische Lösungen, die eine räumlich differenzierte Bewirtschaftung ermöglichen. Mit Hilfe von DGPS-Empfängern (Differential-GPS) ist es möglich, die Position z. B. einer Landmaschine oder eines Sensors sehr genau zu bestimmen. Nach TREUE (2002) ist es Ziel der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, an jeder Stelle des Schlages eine möglichst optimale Behandlung, in Abhängigkeit von allen verfügbaren und verwertbaren Einflussfaktoren, zu ermitteln und durchzuführen. Vorrangige Ziele der teilschlagspezifischen Düngung sind u. a.:

- die Einsparung von Düngemitteln,
- die Ausschöpfung des Ertrags- und Qualitätspotenzials der angebauten Fruchtart und
- der umweltschonende Düngemiteleinsatz.

Hier vorgestellte Ergebnisse beziehen sich auf Leitfähigkeitsmessungen des Bodens, Bodenuntersuchungen, feldspektroskopische Messungen von Pflanzenbeständen und die Ertragsdatenerfassungen durch Mähdrescher.

2 Material, Methoden und Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden auf den Flächen und mit Unterstützung des Lehr- und Versuchsgutes (LVG) Köllitsch der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), nördlich der Elbe und östlich von Torgau, durchgeführt.

Das sächsische Einzugsgebiet der Elbe beträgt 4 030 km². Das Holozän (Postglazial) zeigt sich im Elbegebiet durch Auenlehm, Auenkies und -sand. So sind im Untersuchungsgebiet durchweg fluviatile Ablagerungen zu finden. Der Profilschnitt (siehe Abb. 1) verdeutlicht die geologische Situation. Die Terrassensande sind nach HAASE (1995) nahezu durchgehend von einer Auenlehmdecke überzogen, deren Ausbildung im jüngeren Holozän einsetzte und im Durchschnitt Mächtigkeiten von 1 - 2 m erreicht. Im Südwesten ragt linkselbisch das bewaldete, bewegte Relief und Naturschutzgebiet der Dahlemer Heide auf, welches im Osten durch die Erosionskante der Elbe (Urstromtal) begrenzt wird. Das Relief ist sehr eben und ohne nennenswerte Höhenunterschiede.

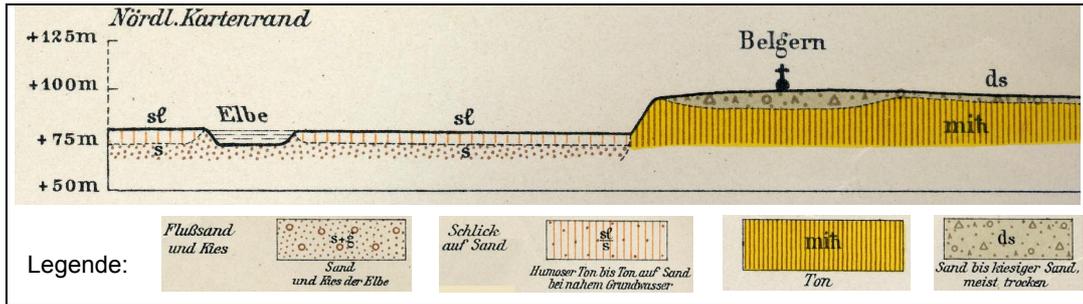


Abbildung 1: Geologischer Profilschnitt von westlich Köllitsch (Nördl. Kartenrand) nach Südosten über Belgern (Quelle: Preußische Landesaufnahme 1930, Blatt Belgern, verändert)

Ein schneller Wechsel der Transportkraft in Flusstälern lässt nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) Wechsellagerungen zwischen Tonen, Schluffen, Sanden und Kiesen entstehen. Die mäandrierende Elbe bildet häufig Altwässer, die durch tonreiche Auen Sedimente verfüllt sind oder noch als Restgewässer/Altarme die Auenlehmebene untergliedern (HAASE 1995). Hier und da ragen im Auenlehm Sandrücken als flache Schwel len aus dem Untergrund auf, die durch Laufverlegungen des Stromes entstanden sind. Der Schlag „Am Flugplatz“, eine der näher untersuchten Flächen (siehe Tab. 1), wird deutlich von einer durch Auenlehm verlandeten Altarmstruktur geprägt.

Tabelle 1: Untersuchte Schläge im LVG Köllitsch

Schlag	Schlagnummer	Schlagunterteilung	Bodenzahl (Ø)	Hektar
Am Park	138		62	13,7
Am Flugplatz	123.1		67	39,6
Schwarzacker	121.3	121.31	77	9,8
		121.32	76	11,4
		121.33	68	12,9

Die Böden im Untersuchungsgebiet haben fluviatile Sedimente (Auenlehm, -sand, -schluff oder -ton) als Ausgangsmaterial der Bodenbildung. Typisch für diese Auenböden, die über Flussschotter anstehen sind die Bodentypen Vega und Auengley.

Die Böden im Untersuchungsgebiet sind fruchtbar, verlangen jedoch nach REXROTH (2005) aufgrund ihres hohen Tongehaltes (15 – 30 Prozent, stark wechselnd) sowie der Sommertrockenheit eine effiziente und zügige Bearbeitung. Neben der Fläche „Am Flugplatz“ stellte das LVG die

Schläge „Am Park“ und „Schwarzacker“ mit mehr oder weniger stark wechselnden Bodeneigenschaften zur Verfügung (siehe Abb. 2).

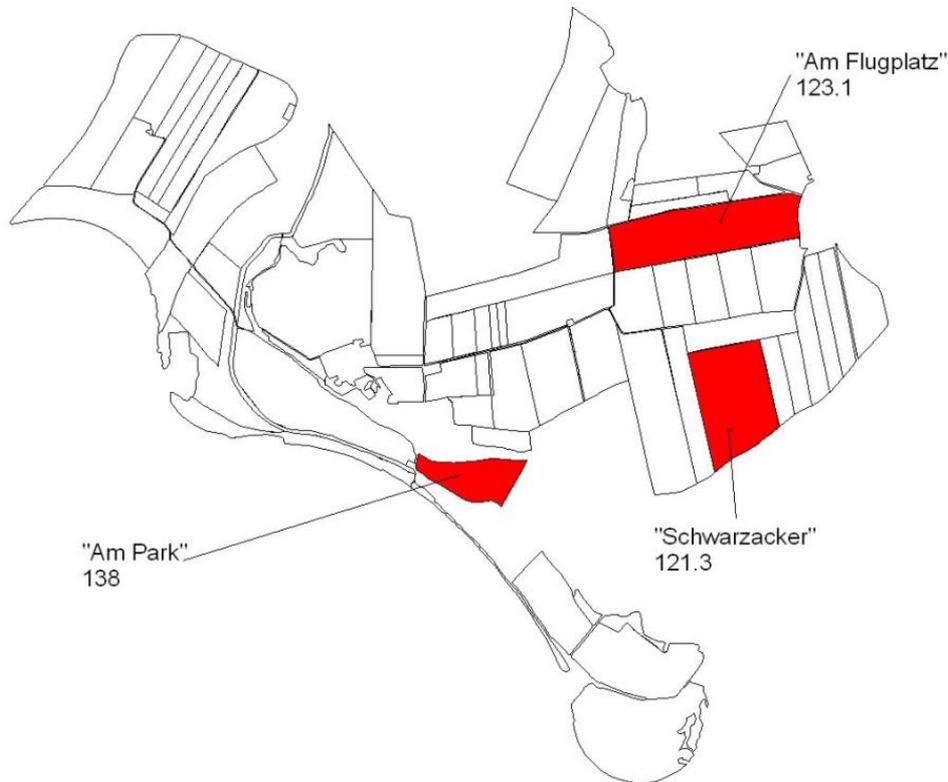


Abbildung 2: Lage der untersuchten Schläge im LVG Köllitsch (Projektion Gauß-Krüger)

2.1 Leitfähigkeitsmessung

In der geophysikalischen Bodenerkundung gibt es verschiedene Verfahren, um Unterschiede in physikalischen Gesteins- und Bodeneigenschaften zu messen. In der Landwirtschaft kommt am häufigsten das geoelektrische System VERIS 3100 und das nach dem Prinzip der Elektromagnetik arbeitende EM38 zum Einsatz. Für diese Arbeit standen flächendeckend EM38-Messdaten zur Verfügung.

2.1.1 Leitfähigkeitsmessung mit dem EM38

Die elektromagnetische Induktion (EM) wurde ursprünglich als kontaktlose Messtechnik für die Bestimmung von Salzkonzentrationen in Böden entwickelt. Das System EM38 (Firma GEONICS LIMITED, Ontario/Canada), auch als Bodenscanner bezeichnet, gehört zu den Zweispulenverfahren. In einer Sendespule wird ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, welches sich im Untergrund

ausbreitet und dort einen schwachen Wechselstrom erzeugt. Dieser generiert ein sekundäres magnetisches Wechselfeld, welches an der Empfangsspule registriert wird (siehe Abb. 3).

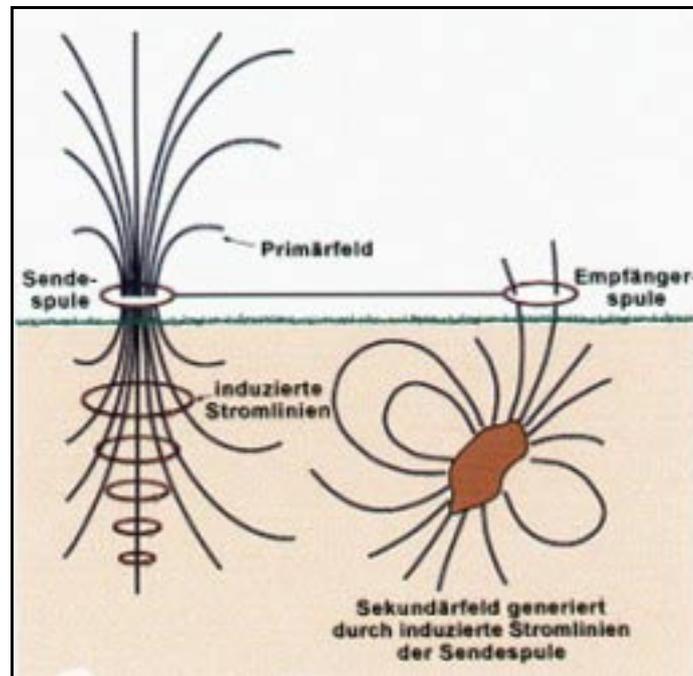


Abbildung 3: Messprinzip des EM38 zur Bestimmung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (aus: www.agricon.de)

Die Werte werden in Milli (10^{-3}) – Siemens pro Meter [mS/m] gemessen und als scheinbare elektrische Leitfähigkeiten (EC_a) oder, wie hier folgend im Text, als Leitfähigkeit des Bodens angesehen. Die Leitfähigkeit des EM38 wird als Summenparameter ermittelt und ist für den gesamten Wurzelraum repräsentativ. Auf den Inhalt des Summenparameters wird im folgenden Kapitel eingegangen. Eine Aussage über die Bodenschichtungsverhältnisse ist mit dem EM38 nicht möglich. Für die Leitfähigkeitskartierung sprechen nach LUDOWICZ et al. (2002) die hohe Dichte der Messpunkte pro Hektar, die Aktualität und die digitale Verfügbarkeit. LÜCK et al. (2002) und DURLESSER (1999) betonen die möglichen Fehlerquellen bei Messungen mit dem EM38. Berücksichtigt und korrigiert werden müssen Temperaturschwankungen, die das Signal im Tagesverlauf verändern. Auch Feuchteschwankungen (Niederschläge) beeinflussen das Signal. Zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführte Messungen zeigen bei u. a. LUCK et al. (2002) und SCHMIDHALTER et al. (2002) gute Übereinstimmungen. Es werden ähnliche Strukturen abgebildet, wobei sich sowohl die Differenzierungen der Messwerte als auch die Wertebereiche unterscheiden können. Notwendige Eichungen des Gerätes erschweren jedoch die unmittelbare Vergleichbarkeit zeitlich unterschiedlicher Messungen.

2.1.2 Aussagekraft der Leitfähigkeitsmessung mit dem EM38

Die elektrische Leitfähigkeit des Bodens wird von Bodenart, Wassergehalt, Nährstoff- und Salzgehalt, Bodenverdichtung und Humusgehalt bestimmt. Zahlreiche Untersuchungen (u. a. DURLESSER 1999; LÜCK 1999, LÜCK et al. 2000, 2002; SCHMIDT & DOMSCH 2001; DOMSCH & GIEBEL 2004; KING et al. 2005) zeigen, dass die Messwerte der elektromagnetischen Leitfähigkeitkartierung (EM38) von der Bodenart, insbesondere jedoch vom Tongehalt beeinflusst werden. Bei Messungen im Labor erklärt nach DURLESSER (1999) der Tongehalt 92 Prozent der Variation von EC_a , bei flächenhaften Messungen beträgt $r^2 = 0,44$ bis $r^2 = 0,65$.

Generell sind nach SCHMIDHALTER et al. (2002) niedrige EC_a -Werte typisch für Sandböden (5 - 15 mS/m), während sehr hohe Werte (30 – 60 mS/m) eher bei tonreicheren Böden zu finden sind, wobei insbesondere Sand und Kies im Unterboden durch niedrige Leitfähigkeiten gut zu kartieren sind. Ein direkter Schluss vom Messwert auf die Bodenform oder die direkte Ableitung von Tonanteilen aus den Werten der elektromagnetisch bestimmten Leitfähigkeit ist ohne Plausibilitätsbetrachtung nicht möglich.

Die Textur eines Bodens ist eine relativ statische Größe, von der die Wasserversorgung der Pflanzen und damit deren Wachstum und der Ertrag abhängen. Die Beziehung zwischen Textur- und Feuchte addiert sich in ihrem Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit, was zu einer nahezu linearen Korrelation zwischen der Leitfähigkeit und der Bodenfeuchte führt (LÜCK et al. 2000).

Andere Bodenkennwerte beeinflussen nicht direkt das Signal der EC_a -Messung. Es bestehen allerdings gute Zusammenhänge zwischen Gehalt an Schluff/Ton und Kationen-Austausch-Kapazität, gravimetrischer Bodenfeuchte, organischer Substanz und elektrischer Leitfähigkeit. Nach LÜCK et al. (2002) beeinflussen geringfügig unterschiedliche Nährstoffkonzentrationen die elektrischen Kenngrößen nicht signifikant. Eine direkte Ableitung von Düngemittellempfehlungen aus EM38-Daten wird nach LÜCK et al. (2002) nicht möglich sein, es sei denn, Bodenarten in Form von Sand- und Tonanteilen werden bei der Berechnung der Düngermenge berücksichtigt.

Der Wechsel von Bodenformen und Bodenarten schafft Heterogenität im Ertragspotenzial und nach TREUE (2002) bei einheitlicher Düngung eine Über- und Unterversorgung mit Nährelementen. Somit liegt es nahe, die Düngung bei nachvollziehbarer Grundlage durch die EC_a -Daten zu variieren.

Auf Standorten mit geringen elektrischen Leitfähigkeiten hat der Pflanzenbestand meist eine geringe Biomasse. In lehmigen Regionen sind die Getreidepflanzen in der Regel besser entwickelt mit höherer Biomasse. Jedoch schlägt die Korrelation in tonreichen Gebieten um, was durch die geringere Wasserdurchlässigkeit und Staunässe zu erklären ist (LÜCK et al. 2002). Ferner werden auf heterogenen, wasserlimitierten Standorten gute Korrelationen zwischen den EC_a -Werten und Ertragsdaten gefunden. Höhere Leitfähigkeitswerte zeigen häufig höhere Erträge an. LÜCK et al. (2000) und KITCHEN et al. (2003) betonen, dass viele Faktoren den Ertrag beeinflussen und erklären

die Ertragsmuster durch unterschiedliche Mächtigkeiten des Oberbodens, Lage im Relief und Wasserverfügbarkeit.

2.1.3 Leitfähigkeitsmessung und Klassifizierung

Beispielgebend werden die Kartierungen der Leitfähigkeitsmessungen mit dem EM38 der Schläge „Am Park“, „Am Flugplatz“ und „Schwarzacker“ (Teilschlag 121.31) vorgestellt. Die Kartierung der Leitfähigkeitsmesswerte (EC_a) ist in den Abb. 4, 7 und 8 dargestellt. Dabei ist zu betonen, dass je nach Klassifizierungsmethode des verwendeten Geografischen Informationssystems (GIS) eine unterschiedliche visuelle Differenzierung der Fläche gestaltet werden kann. Es ist hervorzuheben, dass es für landwirtschaftliche Anwendungen keine verbindliche Klassifizierungsmethode des GIS gibt. Grundsätzlich ist die Verwendbarkeit von GIS-Methoden für die Abbildung landwirtschaftlicher Sachverhalte offen, wird aber praktiziert.

Für die Schläge „Am Park“ und „Am Flugplatz“ wurde die Klassifizierungsmethode „gleiches Intervall“ zur Visualisierung gewählt. Für die Auswertung der EM38-Messwerte wurden drei Klassen (niedrig, mittel, hoch) nach der Methode „natürliche Unterbrechungen“ gebildet, welche die Häufigkeitsverteilung der Werte berücksichtigt. Die EM38-Kartierung des Schlages „Am Park“ erfolgte in Anlehnung an bestehende Fahrspuren im Abstand von etwa 27 m. Dies ergab 1 175 Werte auf einer Fläche von 13,7 ha (85 Werte/ha). Aus der Abb. 4 wird deutlich, dass die niedrigsten und höchsten Leitfähigkeitswerte sich auf die Randbereiche des Schlages beschränken.

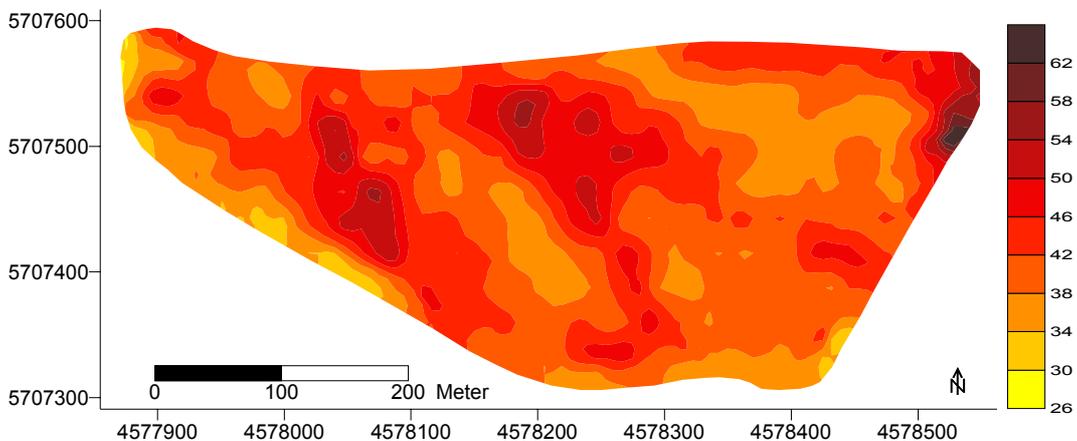


Abbildung 4: Karte der Leitfähigkeitsmessungen mit EM38 [mS/m], Schlag „Am Park“ (Projektion Gauß-Krüger)

Durch die Anlage von zwei Schürfgruben auf dem Schlag „Am Park“ auf unterschiedlicher Bodenleitfähigkeit konnten die aufgrund der EM38-Messung vermuteten Bodenverhältnisse verifiziert werden. Auf hohem EC_a -Wert (siehe Abb. 5) ist neben dem humosen Oberboden und dem darunter folgenden aM-Horizont das Profil nicht weiter differenziert. Die Bodenart wird als mittel toniger

Lehm (Lt3) angesprochen. Die Bodenart des Profils auf niedrigem EC_a -Wert (siehe Abb. 6) ist insgesamt sandiger (Ls2, Ls3) und wird ab 60 cm von schwach schluffigem Sand (Su2) unterlagert.

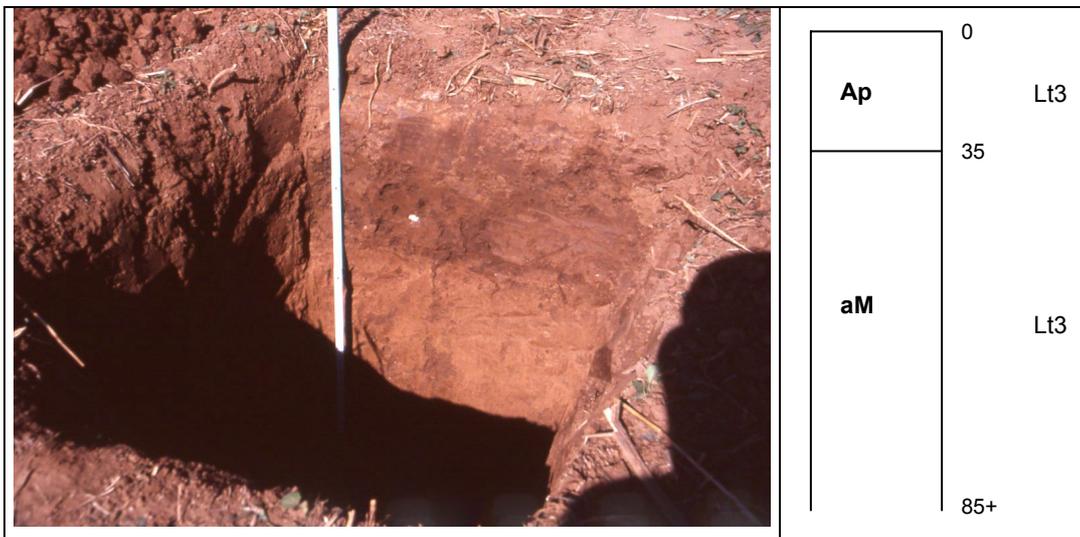


Abbildung 5: Bodenprofil „Am Park“ auf hohem EC_a -Wert (55 mS/m) mit schematischer Ansprache der Horizonte (Tiefenangaben in cm)



Abbildung 6: Bodenprofil „Am Park“ auf niedrigem EC_a -Wert (36 mS/m) mit schematischer Ansprache der Horizonte (Tiefenangaben in cm)

Der Schlag „Am Flugplatz“ wurde mit Spurbständen von 10 – 20 m kartiert (siehe Abb. 7). Es wurden 5 011 Werte gemessen. Bei der Fläche von 39,6 ha ergeben sich etwa 126 Messwerte je ha. Die Spannweite der Messwerte beträgt „Am Flugplatz“ 2,1 - 49,23 mS/m.

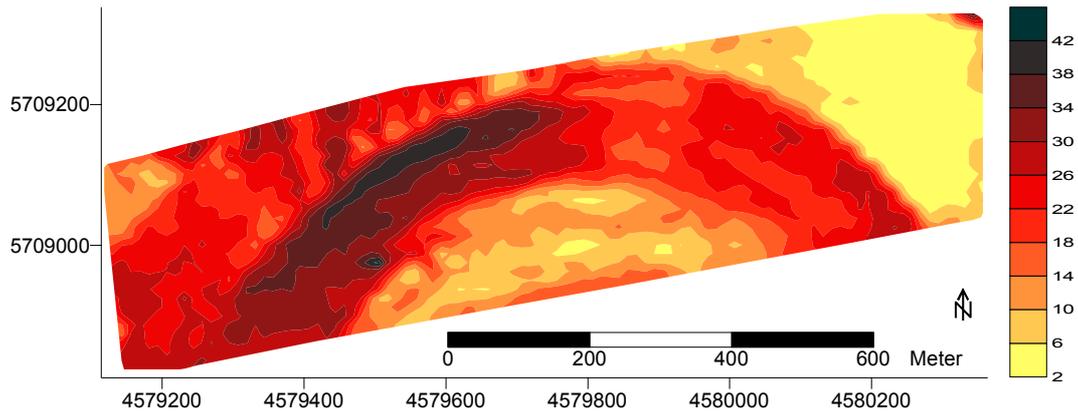


Abbildung 7: Karte der Leitfähigkeitsmessungen mit EM38 [mS/m], Schlag „Am Flugplatz“ (Projektion Gauß-Krüger)

Die beiden Schläge weisen deutliche Unterschiede im Leitfähigkeitsniveau auf („Am Park“ $\mu = 41,5$ mS/m; „Am Flugplatz“ $\mu = 18,9$ mS/m). Die EC_a -Werte unterschiedlicher Messungen sind nicht direkt miteinander vergleichbar. Die relativen EC_a -Werte schwanken „Am Flugplatz“ zwischen 10 Prozent und 240 Prozent vom Schlagmittel, „Am Park“ nur zwischen 67 Prozent und 143 Prozent vom Schlagmittel. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Differenzierungen des Untergrundes „Am Park“ weniger stark ausfallen als „Am Flugplatz“.

Die Klassifizierungsmethoden „gleiches Intervall“ oder „natürliche Unterbrechungen“ führten bei der Fläche „Schwarzacker“, Teilschlag 121.31, nicht zu einer Kartierung, die den Erfahrungswerten zur Fläche entsprachen. Deshalb wurden hier zur Interpolation die Methoden der Nachbarschaftsstatistik des GIS ArcView 3.2 angewendet, um drei praktikable Klassen (niedrig, mittel, hoch) der EM38-Messwerte zu visualisieren (siehe Abb. 8). In die Berechnung gingen 2 239 Einzelmessungen ein ($\mu = 33,4$ mS/m, Spannweite 12,2 - 53,5 mS/m). Zwei Drittel dieser Fläche liegen in der mittleren Leitfähigkeitsklasse.

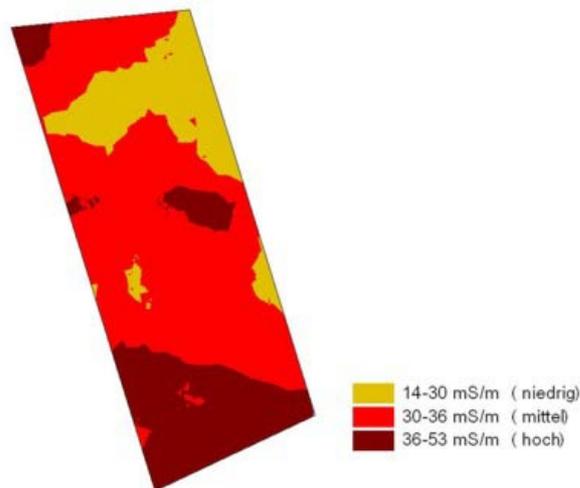


Abbildung 8: Karte der Leitfähigkeitsmessungen mit EM38 [mS/m], Schlag „Schwarzacker“ (Teilschlag 121.31), Projektion WGS84

Für die folgenden Betrachtungen ist von Interesse, wie sich die Differenzierungen der Leitfähigkeit bei der Bodenuntersuchung, der feldspektroskopischen Messung von Pflanzenbeständen und der Ertragserfassung der Druschfrüchte widerspiegeln.

2.2 Bodenuntersuchung

2.2.1 Mineralischer Stickstoffgehalt im Boden (N_{\min})

Die Bodenbeprobung auf dem Schlag 121.3, „Schwarzacker“ erfolgte nach einem systematischen Raster, weil zum Beprobungstermin Ende 2003 noch nicht ausreichend Erfahrungen mit der georeferenzierten Bodenprobenahme, d. h. mit der Auswahl von Beprobungspunkten in Anlehnung an die EM38-Klassenbildung, vorlagen.

Für die Flächen „Am Park“ und „Am Flugplatz“ wurden folgend die Beprobungspunkte vor der N_{\min} -Bodenprobenahme auf Grundlage der Leitfähigkeitswerte des EM38 sowie deren Klassenbildung festgelegt (siehe Tab. 2, Abb. 9 und 10). Jede Leitfähigkeitsklasse (niedrig, mittel und hoch) erhielt eine annähernd gleiche Anzahl an N_{\min} -Bodenprobenahmepunkten.

Tabelle 2: Klasseneinteilung der EC_a -Werte [mS/m] der auf N_{\min} untersuchten Schläge

Schlag	Leitfähigkeitsklasse					
	niedrig	n	mittel	n	hoch	n
„Am Park“	27 - 38,5	15	38,51 - 43,9	15	44,0 - 59,5	14
„Am Flugplatz“	2 - 15	11	15 - 25	10	25 - 50	11

n = Anzahl der Punkte der N_{\min} -Probenahme innerhalb der Leitfähigkeitsklasse (EM38)

Die N_{\min} -Bodenprobenahmen erfolgten zu drei verschiedenen Zeitpunkten (nach der Druschfrucht-ernte 2004, in der Winterperiode 2004 - 2005 und nach Vegetationsbeginn 2005), getrennt nach Bodenschichten (0 - 30 cm, 30 - 60 cm, 60 - 90 cm) sowie laboranalytisch nach Ammoniumstickstoff (NH_4^+) sowie und Nitratstickstoff (NO_3^-).

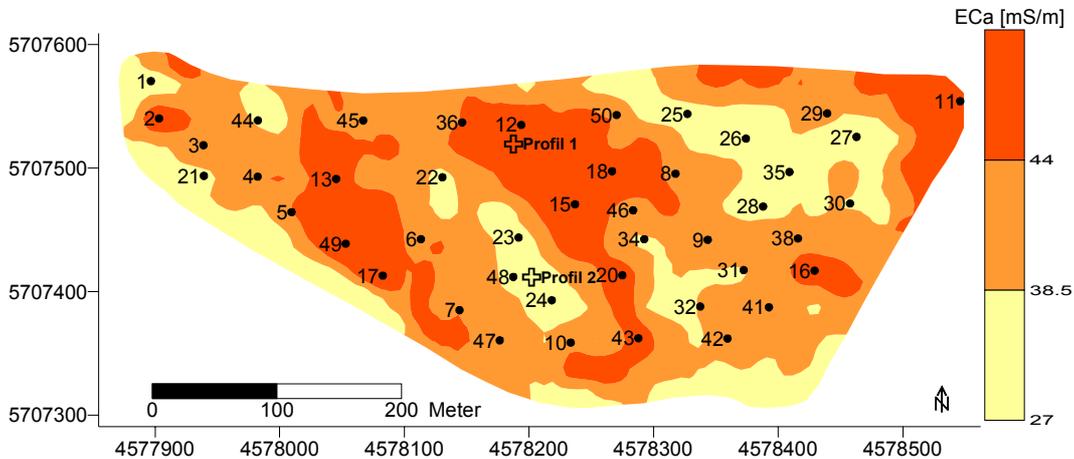


Abbildung 9: N_{\min} -Bodenprobenahmeorte auf dem Schlag „Am Park“ in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (EM38), Projektion Gauß-Krüger

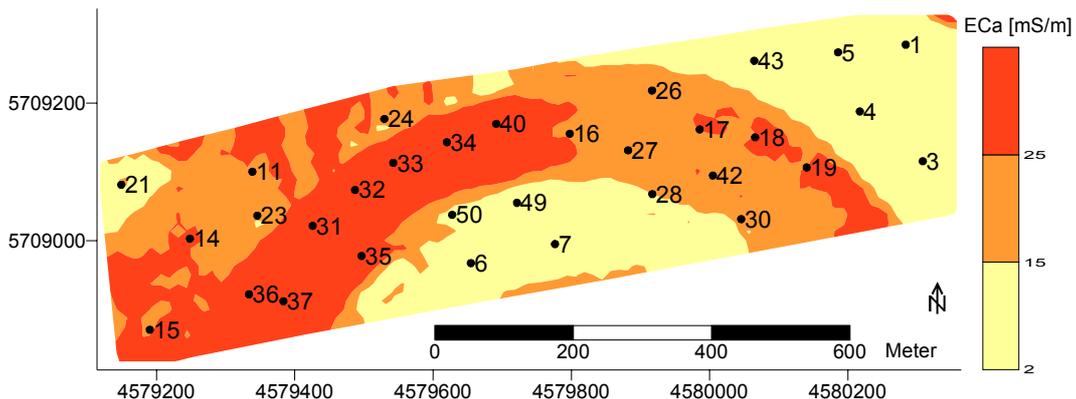


Abbildung 10: N_{\min} -Bodenprobenahmeorte auf dem Schlag „Am Flugplatz“ in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (EM38), Projektion Gauß-Krüger

Für den Schlag „Am Flugplatz“ sind in Tab. 3 die N_{\min} -Werte für die Schicht 0 - 90 cm für die drei Leitfähigkeitsklassen zusammengefasst. Nach der Ernte des Winterweizens wurden auf niedriger Leitfähigkeit mit 142 kg/ha die höchsten N_{\min} -Gehalte gemessen, die geringsten auf mittlerer Leitfähigkeit. Für April ist festzustellen, dass mit steigender Leitfähigkeit höhere N_{\min} -Gehalte gefunden wurden. Es wird anhand der Standardabweichungen (s) deutlich, wie stark die N_{\min} -Werte auch innerhalb der Leitfähigkeitsklassen bzw. Teilflächen streuen. Die Variabilität nimmt zwar mit kleiner werdender Fläche ab, ist jedoch noch erheblich. (vgl. STENGER 1996)

Die Teststatistik hat gezeigt, dass die Mittelwertsunterschiede bei den N_{\min} -Werten nur nach der Ernte als signifikant ($p < 0,05$) einzustufen sind.

Tabelle 3: N_{\min} (kg/ha) in 0-90 cm in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse und Termin, Schlag „Am Flugplatz“

Zeitpunkt	Leitfähigkeitsklasse					
	niedrig		mittel		hoch	
	μ	s	μ	s	μ	s
August 2004	142,1	81,4	73,8	36,4	94,3	52,9
Januar 2005	60,1	29,1	70,0	28,0	67,0	36,5
April 2005	52,3	23,5	54,7	25,6	58,5	21,7

Für den Zusammenhang N_{\min} und scheinbare elektrische Leitfähigkeit (Mittelwerte im Radius von 20 m um den Punkt der Probenahme) ergab die Korrelationsanalyse für den Schlag „Am Flugplatz“ bei etwa einem Drittel der gemessenen N_{\min} -Werte einen meist geringen, aber doch signifikanten Zusammenhang. Insgesamt liegen die signifikanten ($p < 0,01$, $p < 0,05$) Korrelationskoeffizienten (Pearson) bei 0,39 bis 0,68. Zu erkennen ist, dass die Korrelationen nach der Ernte negativ sind, das heißt, dass bei niedrigen Leitfähigkeiten die höchsten N_{\min} -Gehalte gemessen wurden. Dies ist mit dem höheren Stickstoffzug der Pflanzen auf den tonigeren Teilflächen und nicht ausgenutzten Dünger auf sandigeren Teilflächen zu erklären. Die sandigeren Teilflächen bekamen zur 2. N-Gabe etwa 20 kg/ha mehr Stickstoff.

Werden dem Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und N_{\min} nichtlineare Zusammenhänge unterstellt, ergeben sich zum Beispiel für die Werte nach der Ernte U-förmige Kurvenverläufe mit Bestimmtheitsmaßen (r^2) von 0,27 bis 0,49. Für N_{\min} in der Schicht 0-60 cm (siehe Abb. 11) zeigt sich für die Werte nach der Ernte ein ähnlicher Kurvenverlauf mit $r^2 = 0,45$. Die höheren Reste an N_{\min} können vor allem durch Wassermangel und nicht ausgenutzten Dünger begründet sein. Für Januar und Februar zeigen die Werte geringere bis keine Zusammenhänge.

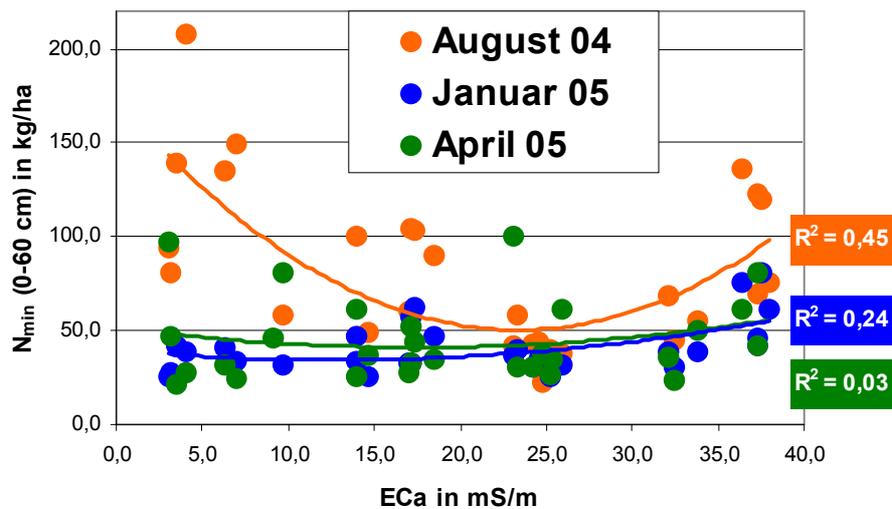


Abbildung 11: N_{\min} in 0 - 60 cm zu drei Terminen in Abhängigkeit zur elektrischen Leitfähigkeit, Schlag „Am Flugplatz“

Für den Schlag „Am Park“ ergab die Korrelationsanalyse von N_{\min} und elektrischer Leitfähigkeit ein anderes Bild. In wenigen Fällen sind die Korrelationskoeffizienten signifikant. Nach der Ernte korrelieren elektrische Leitfähigkeit und N_{\min} mit $r = 0,36$. Die höchsten Korrelationen treten in den unteren Tiefenschichten ab 30 cm auf, wobei im April in 60 - 90 cm für Nitrat ein vergleichsweise hoher Korrelationskoeffizient von 0,61 ($r^2 = 0,37$) auftritt. Für den Gesamtgehalt an N_{\min} in 0 - 90 cm (siehe Tab. 4) wurden zu allen Terminen mit höherer Leitfähigkeitsklasse höhere N_{\min} -Gehalte gefunden. Im August beträgt der mittlere N_{\min} -Gehalt 50,9 kg/ha auf niedriger Leitfähigkeit und 65,2 kg/ha auf hoher Leitfähigkeit. Dieser Trend verstärkt sich bis zum April, wo auf niedriger Leitfähigkeit 70,8 kg/ha, auf mittlerer 81,3 kg/ha und auf hoher Leitfähigkeit 108,1 kg/ha gemessen wurden. Die N_{\min} -Gehalte steigen auf allen Leitfähigkeitsklassen von August bis zum April an, auf niedriger und mittlerer Leitfähigkeit um etwa 20 kg/ha und auf hoher Leitfähigkeit um 43 kg/ha. Auch für diesen Schlag sind die zum Teil hohen Standardabweichungen der N_{\min} -Gehalte zu berücksichtigen.

Tabelle 4: N_{\min} (kg/ha) in 0 - 90 cm in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse und Termin, Schlag „Am Park“

Zeitpunkt	Leitfähigkeitsklasse					
	niedrig		mittel		hoch	
	μ	s	μ	s	μ	s
August 2004	50,9	25,6	61,7	21,2	65,2	24,3
Februar 2005	56,8	13,5	66,6	20,5	88,3	32,7
April 2005	70,8	25,4	81,3	32,3	108,1	69,5

Die N_{\min} -Werte in Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit sind exemplarisch für Februar 2005 in Abb. 12 dargestellt. Für die Schicht 0 - 30 cm bestehen keine Zusammenhänge. Die Unterschiede der N_{\min} -Werte in 60 - 90 cm lassen sich mit der höchsten Bestimmtheit ($r^2 = 0,29$) durch die Variabilität der elektrischen Leitfähigkeit erklären. Die Regressionsgerade für N_{\min} der Schicht 30 - 60 cm hat einen Anstieg von etwa 1,4, was bedeutet, dass bei um 10 mS/m höheren Leitfähigkeiten die N_{\min} -Werte um etwa 14 kg/ha höher liegen.

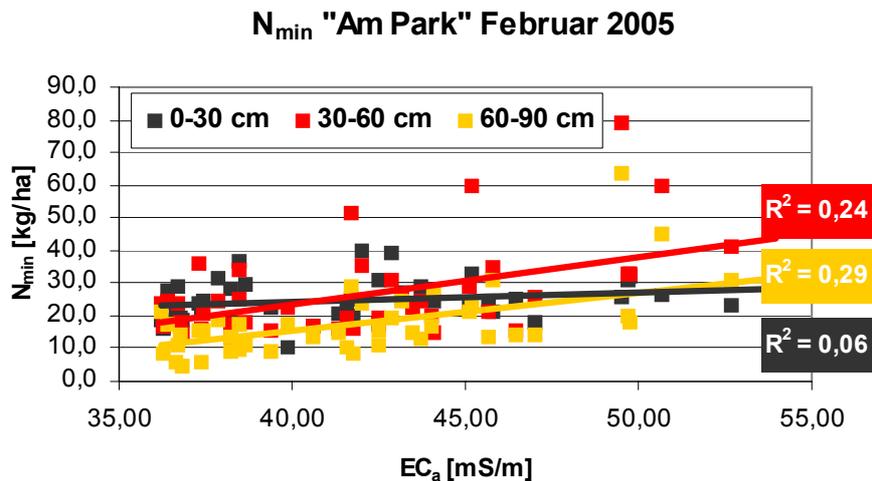


Abbildung 12: N_{\min} in drei Tiefenschichten „Am Park“ (Februar 2005) in Abhängigkeit zur elektrischen Leitfähigkeit (EM38), lineare Trends mit Bestimmtheitsmaß

Für die Mittelwertsunterschiede von N_{\min} auf den drei Leitfähigkeitsklassen ist außer im August in 60 - 90 cm und April in 0 - 30 cm bei allen Mittelwerten der Trend erkennbar, dass die N_{\min} -Gehalte mit steigender Leitfähigkeitsklasse höher liegen. Für die Mittelwerte nach der Ernte wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die Februarwerte unterscheiden sich zwischen niedriger und mittlerer Leitfähigkeitsklasse nicht. Nur für N_{\min} in den Schichten 30 - 60 cm und 60 - 90 cm wurden für niedriger zu hoher und mittlerer zu hoher Leitfähigkeitsklasse signifikante Unterschiede gefunden. Gleiches trifft für die Unterschiede der N_{\min} -Gehalte im April zu, wobei zu diesem Zeitpunkt auch ein signifikanter Unterschied im N_{\min} - bzw. Nitratgehalt zwischen niedriger und mittlerer Leitfähigkeitsklasse für die Schicht 60 - 90 cm festgestellt wurde.

2.2.2 Der pH-Wert sowie Phosphor-, Kalium-, Magnesium-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Bodenschicht 0-20 cm

Die Bodenprobenahme zur Untersuchung auf pH-Wert, Grundnährstoffe (P, K, Mg), Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt wurde beim Schlag „Schwarzacker“ Ende 2003 durchgeführt. Die Bodenbeprobung erfolgte, wie oben dargelegt, nicht in Anlehnung an Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessung mit dem EM38, sondern annähernd rasterartig. 136 Punkte der Bodenprobenahme wurden relativ

gleichmäßig über die Fläche verteilt, wie in Abb. 13 dargestellt. An jedem Probenahmepunkt wurde eine Mischprobe hergestellt. Die Untersuchung der Mischproben führte der Fachbereich „Landwirtschaftliches Untersuchungswesen“ der LfL durch. Für die nachfolgende Klassifizierung der Bodenuntersuchungsergebnisse (pH-Wert, Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg)) wurde das im Freistaat Sachsen angewendete System zur landwirtschaftlichen Einstufung des Boden-pH-Wertes und der Grundnährstoffe verwendet. Dabei bedeutet Stufe A einen sehr niedrigen, B einen niedrigen, C einen optimalen, D einen hohen und E einen sehr hohen Bereich des pH-Wertes bzw. Grundnährstoffs im Boden.

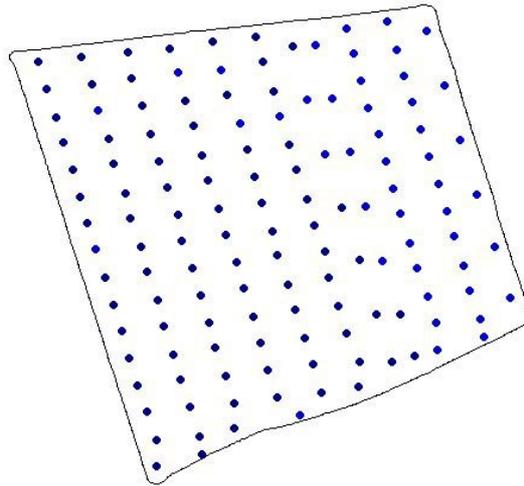


Abbildung 13: Punkte der Bodenprobenahme, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84)

Der Schlag „Schwarzacker“ (121.3) zeichnete sich zum Untersuchungszeitpunkt durch einen hohen bis sehr hohen pH-Wert in der Bodenschicht 0 - 20 cm aus. Die Spanne der pH-Werte lag zwischen 6 und 7. Der mittlere pH-Wert betrug 6,3, dessen Streuung 4,2 Prozent. Etwa ein Viertel der Fläche wies die Klasse D (hoch) und drei Viertel der Fläche die Klasse E (sehr hoch) auf (siehe Abb. 14).

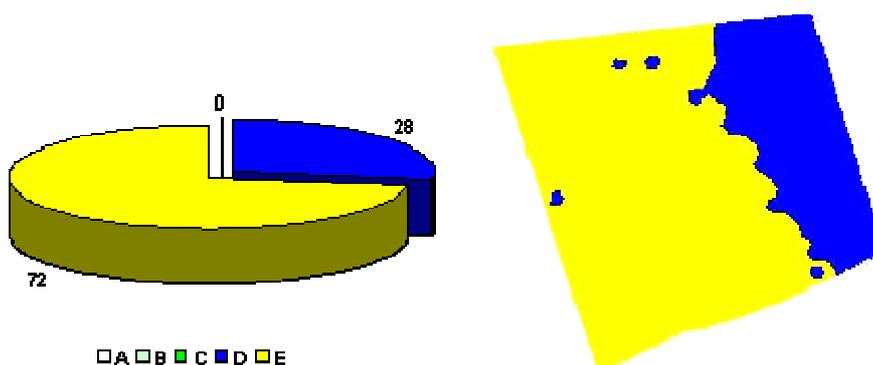


Abbildung 14: Anteile und Verteilung der pH-Klassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84)

Wesentlich differenzierter stellte sich das Ergebnis der Bodenuntersuchung auf Phosphor (P) der Bodenschicht 0 - 20 cm nach der CAL-Bodenuntersuchungsmethode dar. Über 90 Prozent der Fläche war mehr als optimal (C) mit P_{CAL} versorgt (siehe Abb. 15). Der mittlere Phosphorgehalt betrug 11,7 mg P_{CAL} pro 100 g Boden, das Minimum 4,7 mg und das Maximum 38,6 mg. Die Streuung lag bei 48 Prozent.

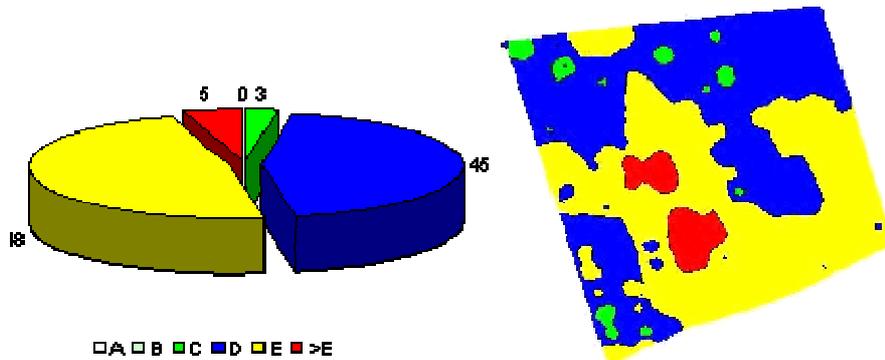


Abbildung 15: Anteile und Verteilung der P-Gehaltsklassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84)

Ähnlich differenziert, aber nicht vollkommen identisch mit der flächigen P-Differenzierung, bildete sich das Ergebnis der Bodenuntersuchung auf Kalium (K) der Bodenschicht 0 - 20 cm nach der CAL-Bodenuntersuchungsmethode ab. Cirka ein Drittel der Fläche war optimal (C) mit K_{CAL} ausgestattet, die Restfläche war darüber versorgt (siehe Abb. 16). Die Spanne der K_{CAL} -Gehalte erstreckte sich von 4,9 mg K_{CAL} pro 100 Boden bis 55,8 mg, bei einem Mittelwert von 15,5 mg. Die relative Streuung der K_{CAL} -Gehalte lag bei 51 Prozent.

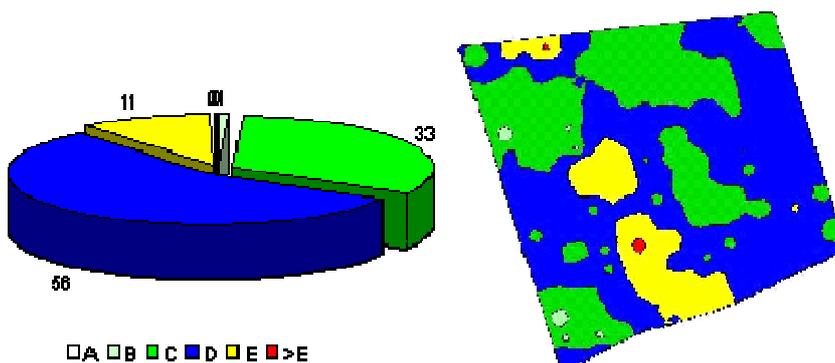


Abbildung 16: Anteile und Verteilung der K-Gehaltsklassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS 84)

Als Ergebnis der Untersuchung der Bodenproben auf Magnesium (Mg) wurde auf dem Schlag „Schwarzacker“ eine flächendeckende sehr hohe Versorgung festgestellt. Der mittlere Mg-Gehalt lag bei 13,9 mg/100 g Boden, die Spannweite zwischen 7,9 mg bis 20,4 mg, bei einer Streuung von 22 Prozent.

Allgemeingültige Klassifizierungssysteme für die Einordnung der Bodenuntersuchungsergebnisse auf den gesamten Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt (C_{gesamt} und N_{gesamt}) für die Bodenschicht 0 - 20 cm sind derzeit nicht im Gebrauch. Zur Klassifizierung der Untersuchungswerte wurde die Methode des GIS ArcView 3.2 „natürliche Unterbrechungen“ bei fünf Klassen gewählt. Die Klasse 1 repräsentiert sehr niedrige Untersuchungswerte, die Klasse 5 sehr hohe. Bezüglich der flächigen Verteilung deuteten sich auf dem Schlag „Schwarzacker“ Ähnlichkeiten beider Untersuchungsmerkmale an (siehe Abb. 17 und 18). Die relative Streuung der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte betrug 15 Prozent.

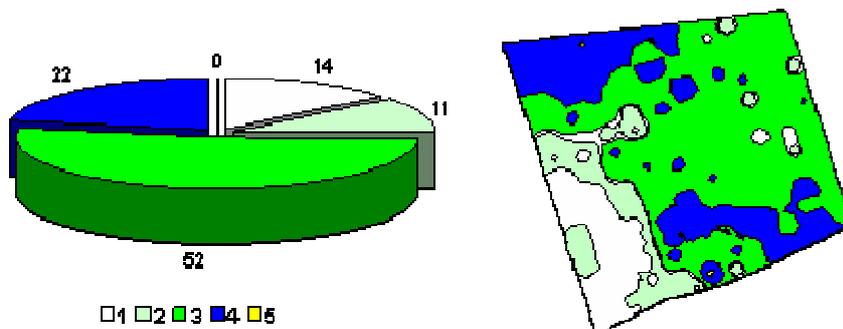


Abbildung 17: Anteile und Verteilung der C_{gesamt} -Klassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84)

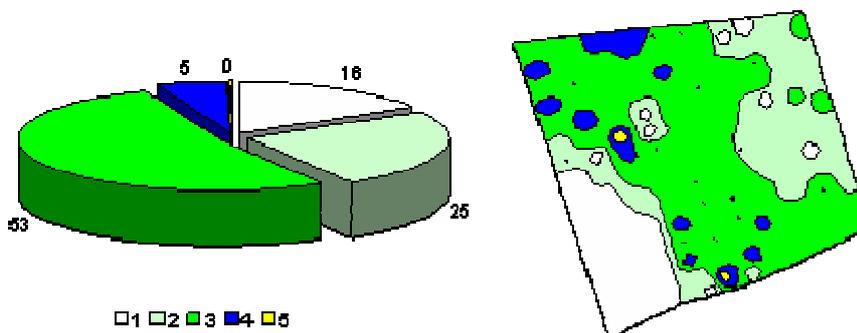


Abbildung 18: Anteile und Verteilung der N_{gesamt} -Klassen, Schlag „Schwarzacker“ (Projektion WGS84)

2.2.3 Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Bodenuntersuchungsergebnis

Die Korrelationskoeffizienten der Bodenuntersuchungsergebnisse des Schlags „Schwarzacker“, dargestellt in der Tab. 5, zeigen nennenswert enge Beziehungen zwischen

- P_{CAL} und K_{CAL} ,
- Mg , C_{gesamt} und N_{gesamt} sowie
- C_{gesamt} und N_{gesamt} .

Tabelle 5: Korrelation der Bodenuntersuchungsergebnisse und der EM38-Leitfähigkeitsmessung

Merkmal	P_{CAL}	K_{CAL}	Mg	pH	C_{gesamt}	N_{gesamt}	EM38
P_{CAL}		0,86	-0,03	0,40	0,22	0,21	0,19
K_{CAL}			-0,03	0,24	0,21	0,15	0,17
Mg				-0,24	0,78	0,70	-0,12
pH					-0,04	0,09	0,01
C_{gesamt}						0,86	-0,10
N_{gesamt}							-0,10
EM38							

Anhand der Bodenbeprobungsergebnisse (Bodenschicht 0 - 20 cm, Schlag „Schwarzacker“, 2003) konnte kein Zusammenhang zu Werten der Messung der Leitfähigkeit des Bodens mit dem EM38 festgestellt werden. Diese Feststellung kann aber nicht verallgemeinert werden. So sind z. B. niedrigere Kaliumgehalte eher auf Flächenanteilen mit leichterem Boden zu erwarten. Dies war beim Schlag „Schwarzacker“ nicht der Fall. Dafür gibt es Ursachen. Der „Schwarzacker“ wurde mit besonderer Intensität bewirtschaftet. Deutlich wird dies bei der Betrachtung des hohen Zusammenhangs zwischen den P_{CAL} - und K_{CAL} -Bodenuntersuchungswerten sowie der Höhe dieser Werte an sich. Neben der mineralischen Grundnährstoffdüngung wurden auf dieser Fläche zusätzlich regelmäßig flüssige Wirtschaftsdünger aufgebracht. Beide Bewirtschaftungsmaßnahmen führten zu Nährstoffakkumulationen, die über den als optimal betrachteten Bodennährstoffgehalt hinausgehen. Die kleinflächigen Grundnährstoffkonzentrationen, wie z. B. für Phosphor und Kalium aus den Abb. 15 und 16 ersichtlich, sind eher mit sich langjährig wiederholenden Verfahrensweisen, besonders bei der Wirtschaftsdüngerausbringung, erklärbar.

Zwischen Bodenuntersuchungswerten und Leitfähigkeitsmessung mit dem EM38 muss nicht zwingend ein Zusammenhang bestehen, auch weil die Leitfähigkeitsmessung als kontaktlose Messtechnik einen Summenparameter über den gesamten Wurzelraum (etwa 0 - 120 cm) abbildet.

2.3 Feldspektroskopische Messungen zur Stickstoffdüngung

Neben den dargestellten Ergebnissen zur Bestimmung des Nährstoffangebotes über Bodenuntersuchungen existieren zahlreiche Methoden zur Feststellung des Stickstoffbedarfs von Pflanzen. Für die folgenden Untersuchungen kam ein optisches System, der Yara N-Sensor®, im folgenden N-Sensor genannt, zur Anwendung. Der N-Sensor misst die Reflexion des auf den Pflanzenbestand einfallenden Sonnenlichtes. Das dabei zugrunde liegende Prinzip ist, dass die Reflexionseigenschaften des Pflanzenbestandes vom Stickstoffernährungszustand bestimmt werden. Der Stickstoff hat einen wesentlichen Einfluss auf den Chlorophyllgehalt der Pflanze. Somit ist die Höhe der Lichtabsorption auf die chemische Zusammensetzung und den Gehalt an Blattpigmenten zurückzuführen (LIEBLER 2003). Geräteinterne Algorithmen bestimmen während der Überfahrt (siehe Abb. 19) den Stickstoffstatus der Pflanze über die Annahme, dass der gemessene Wert mit der oberirdischen Biomasse sowie dem Chlorophyllgehalt der Blätter korreliert.



Abbildung 19: Konzept des N-Sensors zur Ermittlung angepasster Düngermengen (aus: LUDOWICY et al. 2002)

Die Spektrometer des N-Sensors erfassen verschiedene Wellenlängenbereiche und werden im Gerät zum sog. N-Sensorwert verrechnet und geben einen Biomasseindex wieder. Ein hoher Chlorophyllgehalt bedeutet eine hohe N-Versorgung (hoher N-Sensorwert). Vor der Düngung ist eine fachgerechte Kalibrierung des N-Sensors durchzuführen. Feldrepräsentierende Punkte auf dem Schlag werden angefahren und unter Zuhilfenahme des Yara-N-Testers (Handgerät) der Stickstoffbedarf der Pflanzen festgelegt. Bei Reflexionsmessungen ist zu berücksichtigen, dass das Reflexionsverhalten von Pflanzenbeständen weitaus komplexer ist. Der Zusammenhang zwischen N-Sensormesswert und Chlorophyllgehalt ist nachgewiesen, aber Schlussfolgerungen und Reaktionsprinzipien sind nach TREUE (2002) bisher schwer nachvollziehbar. Es gibt auch andere Ursachen für mangelnde Grünfärbung, wie Nährstoffmangelercheinungen (z. B. Magnesium), Wassermangel oder Krankheitsbefall. Die Messung mit dem N-Sensor ist erst ab einem nahezu geschlossenen Pflanzenbestand möglich. Insbesondere zu Vegetationsbeginn kann sich eine teilflächenspezifische N-Düngung wegen unzureichender Messgenauigkeiten nicht auf feldspektroskopische

sche Messungen stützen (LIEBLER, 2003). Die erste N-Düngergabe ist mit anderen Verfahren teilflächenspezifisch auszubringen. LUDOWICY et al. (2002) stellten in Versuchen mit dem N-Sensor eine homogenere Bestandesentwicklung, einen durchschnittlichen Mehrertrag von 2,2 Prozent, geringere N_{\min} -Gehalte nach der Ernte und eine gleichmäßigere Abreife fest.

2.3.1 Erste Stickstoffgabe

In vielen Fällen kann die erste Stickstoffgabe zu Vegetationsbeginn nicht teilflächenorientiert erfolgen. Neben der begrenzten Möglichkeit der Flächenbefahrbarkeit stößt zu diesem Zeitpunkt die feldspektroskopische Messung auf Grenzen, speziell bei Winterweizen, weil nicht ausreichend grüne Blattmasse vorhanden ist. Der Einsatz des N-Sensors zu diesem Zeitpunkt lässt unzureichende Messgenauigkeiten erwarten. Die erste Stickstoffdüngergabe kann mit anderen Verfahren teilflächenspezifisch ausgebracht werden.

Die Bodenbeprobung der hier beispielgebend aufgeführten Fläche „Schwarzacker (121.3) erfolgte Ende Februar 2005 an 36 Punkten. Zu diesem Zeitpunkt war die Flächenbefahrbarkeit gegeben. Der in Abb. 20 dargestellte rechte Teilschlag 121.31 war mit Winterweizen, der mittige Teilschlag 121.32 ebenfalls mit Winterweizen sowie der linke Teilschlag 121.33 mit Winterraps bestellt. Die N_{\min} -Bodenuntersuchungswerte sind in fünf Klassen, entsprechend ihrer natürlichen Verteilung, dargestellt.

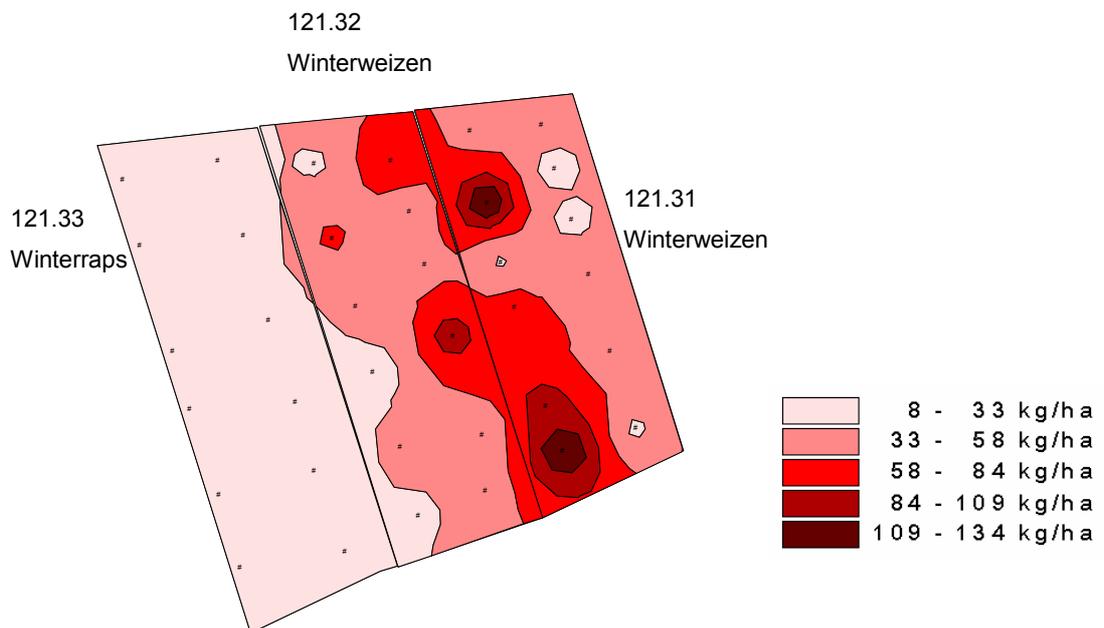


Abbildung 20: Ergebnis der N_{\min} -Bodenuntersuchung 0-60 cm [kg/ha] vom 18.02.2005, Schlag 121.3 (Projektion WGS84)

Die flächige Differenzierung der N_{\min} -Bodenwerte sowie die Höhe der N_{\min} -Werte sind ursächlich an die bestellte Fruchtart und die organische Düngung mit Rindergülle im Herbst 2004 auf die Teilflächen 121.31 und 121.32 gebunden. Wie bereits bei der Betrachtung zu den Ergebnissen der Bodenuntersuchung auf Grundnährstoffe ausgeführt, kam es auch hier durch die Flächenbewirtschaftung zu einer vollständigen Überlagerung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Bodenleitfähigkeitsmesswerten und Höhe der N_{\min} -Werte zu Vegetationsbeginn. Zur Vorbereitung der bodengebundenen teilschlagorientierten ersten Stickstoffgabe wurde für jeden Beprobungspunkt die Empfehlung der sächsischen Agrarsoftware „BEFU“ eingetragen. Die daraus resultierende Grundlage für eine Düngerstreuerapplikationskarte zum Zeitpunkt der ersten Stickstoffgabe ist in Abb. 21 dargestellt.

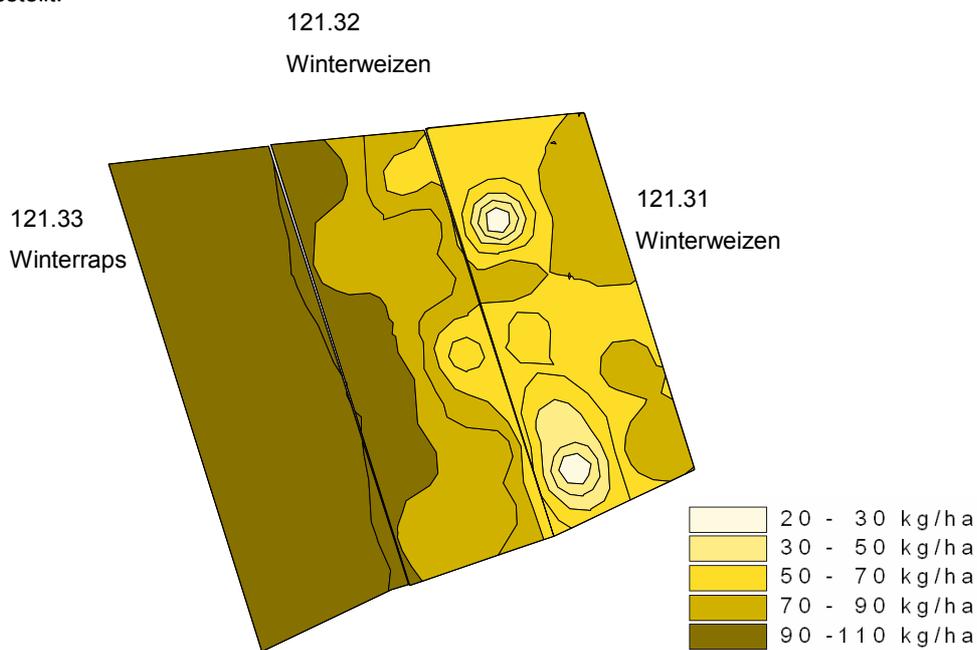


Abbildung 21: Ergebnis zur Höhe und Verteilung der ersten N-Gabe [kg/ha N], Schlag 121.3 (Projektion WGS84)

Aufgrund der folgenden Nichtbefahrbarkeit der Fläche (Niederschläge und unzureichende Abtrocknung) konnte zu Vegetationsbeginn keine teilflächenorientierte erste Stickstoffgabe ausgebracht werden, so dass an dieser Stelle keine Ergebnisse präsentiert werden können. Die erste Stickstoffgabe wurde durch den Einsatz eines Agrarfliegers realisiert.

2.3.2 Zweite Stickstoffgabe

Die Auswertung der Messwerte der N-Sensor-Düngung auf dem Schlag „Am Flugplatz“ aus dem Jahr 2004 (2. N-Gabe) ergab eine Abgrenzung des östlichen sandigeren Schlagteils ($\mu_{ECa} = 4,9$ mS/m) vom Rest des Schlages ($\mu_{ECa} = 22,2$ mS/m). Der mittlere N-Sensorwert beträgt auf dem

sandigen Teil 3,8 (gegenüber 6,4), wobei die mittlere ausgebrachte N-Menge mit 55 kg/ha (gegenüber 37 kg/ha) hier (siehe Abb. 22) deutlich höher ausfällt, was sich aus der vorliegenden Applikationsfunktion erklären lässt.

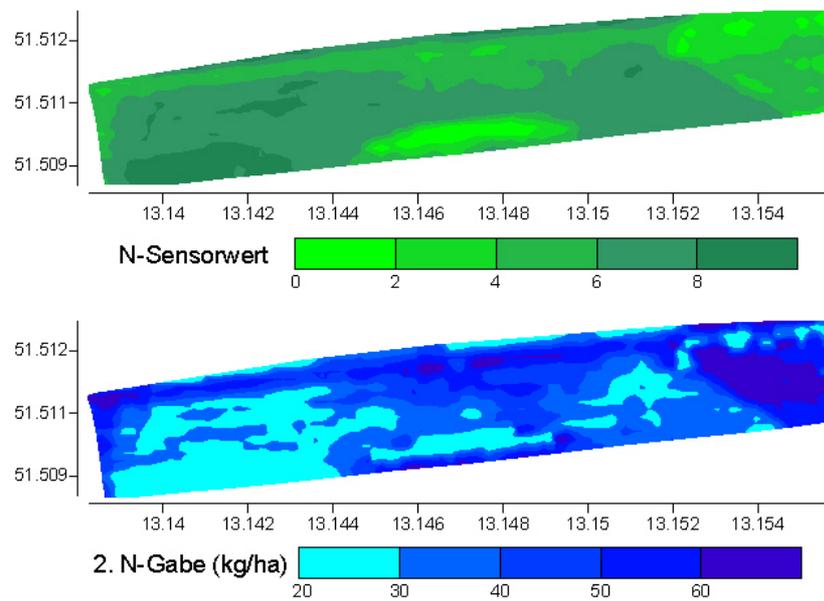


Abbildung 22: Karte der Biomasseindexmessung mit dem N-Sensor und Stickstoffdüngung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe zu Winterweizen 2004, Schlag „Am Flugplatz“ (Projektion WGS84)

Die Unterschiede in der Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von Bodenunterschieden (EC_a) bilden sich im Jahr 2004 deutlich ab. Der Zusammenhang ($r^2 = 0,32$ bzw. nichtlinear $r^2 = 0,38$) der N-Sensorwerte und der EC_a -Werte wird in Abb. 23 veranschaulicht.

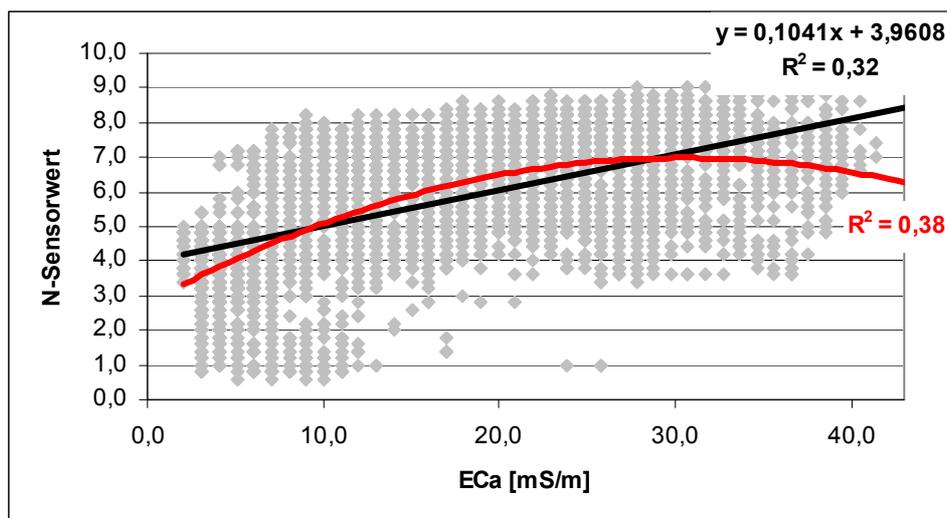


Abbildung 23: Zusammenhang der Biomasseindexmessung mit dem N-Sensor zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe 2004 zu Winterweizen und elektrischer Leitfähigkeit (EM38), Schlag „Am Flugplatz“

Die Biomasseindexmessung bei Wintergerste im folgenden Jahr 2005, zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe, zeigte keine Zusammenhänge zwischen Biomasseindexmessung des N-Sensors und Bodenleitfähigkeit (siehe Tab. 6). Die gedüngte Stickstoffmenge lag zwischen 0 kg und 50 kg N/ha. Die N-Sensormesswerte streuen auf allen Leitfähigkeiten ohne erkennbares Muster zwischen 5,8 und 10,4. Der interne Algorithmus des N-Sensor folgte bei den Messungen dem Prinzip, dass Pflanzen mit hohen Biomasseindexwerten weniger Stickstoff erhalten als Pflanzen mit niedrigen Biomasseindexwerten. Die Bestimmtheitsmaße für diese negativen Korrelationen betragen bei Einbeziehung aller Messwerte etwa $r^2 = 0,9$.

Tabelle 6: Korrelationen zur zweiten Stickstoffgabe, 2004 Winterweizen und 2005 Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“

Jahr	Fruchtart	Korrelation		
		Merkmal	Biomasseindex	2. N-Gabe
2004	Winterweizen	EM38-Messwert	0,62	-0,60
		Biomasseindex		-0,97
		2. N-Gabe		
2005	Wintergerste	EM38-Messwert	0,16	-0,27
		Biomasseindex		-0,96
		2. N-Gabe		

Für den Schlag „Am Park“ konnte für verschiedene N-Sensorüberfahrten 2004 (Winterraps) ein Zusammenhang ($r^2 = 0,38 \dots 0,45$) zwischen elektrischer Leitfähigkeit des Bodens und

N-Sensormesswert gefunden werden. Das bedeutet, dass die Pflanzen in diesem Jahr auf Bodenunterschiede mit unterschiedlicher Entwicklung (Chlorophyllgehalt, Biomasse) reagiert haben. Die Erträge des Winterraps 2004 zeigen dagegen kaum eine Abhängigkeit von der Bodenleitfähigkeit. Ab dem Jahr 2004 wurden auf dem Schlag „Schwarzacker“ Vergleiche der variablen Düngung mit N-Sensor gegenüber der betriebsüblichen konstanten Düngung angestellt. Dabei wurden drei Fahrgassen mit der variablen Applikationsmenge nach N-Sensor (Variante A) durchfahren und die folgenden drei Fahrgassen mit einer konstant gehaltenen Stickstoffdüngermenge (Variante B). Das Anlageschema ist in Abb. 24 skizziert.

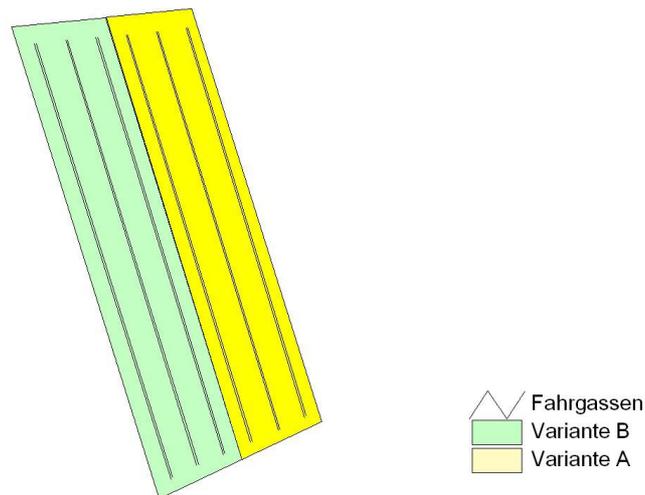


Abbildung 24: Anlageschema für den Variantenvergleich in Winterweizen (Projektion WGS84)

Die Erträge des Winterweizens von 2004 waren dominant das Resultat günstigster Witterungsbedingungen in allen entscheidenden Entwicklungsphasen des Weizenweizens. Unabhängig von der Fruchtfolgestellung des Weizens oder dessen Bewirtschaftung wurden Korntrträge von ca. 100 dt/ha auf dem „Schwarzacker“ geerntet. Das Wirtschaftsjahr 2005/2006 wiederum war aufgrund der hohen Auswinterungsschäden prägnant. Die Winterungen mussten neu mit Sommerungen bestellt werden. Deshalb werden an dieser Stelle, stellvertretend für den Schlag „Schwarzacker“, die Ergebnisse des oben genannten Vergleichs auf der Fläche 121.31 aus dem Jahr 2005 mit Winterweizen, Sorte „Ludwig“, vorgestellt. Mit dem N-Tester wurde eine zweite N-Gabe in Höhe von 50 kg/ha N ermittelt. Nach erfolgter Eichung des N-Sensors an Referenzpunkten wurde dieser auf den zu düngenden Bereich von 0 bis 100 kg/ha N für die variable Düngung eingestellt. Während der Überfahrt erfolgte bei beiden Varianten die Biomasseindexmessung mit dem N-Sensor (siehe Abb. 25).

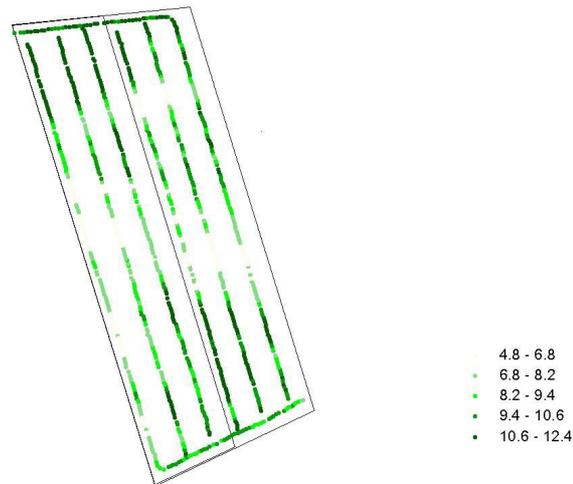


Abbildung 25: Karte der Biomasseindexmessung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84)

Das Streubild der ausgebrachten Stickstoffdüngermengen zeigt die Abb. 26.

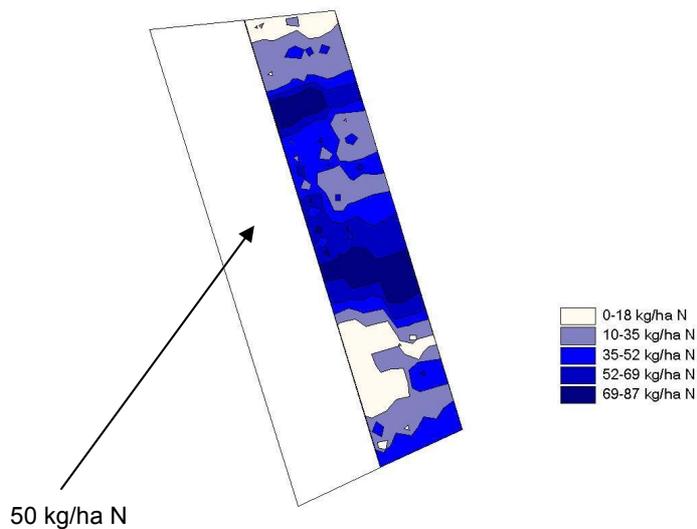


Abbildung 26: Karte der N-Düngung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84)

Gegenüber der konstanten Düngung (Variante B) wurden mit dem N-Sensor (Variante A) 12 kg/ha N weniger gedüngt (siehe Tab. 7). Teilflächen mit niedrigem Biomasseindexmesswert erhielten eine höhere N-Düngergabe und umgekehrt.

Tabelle 7: Statistische Maßzahlen der zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31

Merkmal	statistische Maßzahl	Variante A N-Sensor-Düngung	Variante B konstante Düngung
Biomasseindex	n	586	474
	μ	9,6	8,6
	s %	15,3	17,2
2. N-Gabe	μ	38,3	50,0
	s %	46,9	

Die Beziehung von Biomasseindexmesswert des N-Sensors und Höhe der zweiten Stickstoffgabe der Variante A wird durch den negativen Korrelationskoeffizienten (-0,89) gestützt (siehe Tab. 8). Ausgeprägte Beziehungen zu EM38-Messwerten bestanden zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe auf der Fläche 121.31 nicht, obwohl visuelle Ähnlichkeiten des Streubildes mit dem Bild der Bodenleitfähigkeitsmessung (siehe Abb. 8) erkennbar sind.

Tabelle 8: Korrelationen zur zweiten Stickstoffgabe (21.04.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31

Variante	Merkmal	Merkmal	Korrelation
Variante A N-Sensor-Düngung	EM38-Messwert	Biomasseindex	0,30
	Biomasseindex	2. N-Gabe	- 0,89
Variante B konstante Düngung	EM38-Messwert	Biomasseindex	0,07

2.3.3 Dritte Stickstoffgabe

Der im vorherigen Abschnitt 2.3.2 beschriebene Variantenvergleich auf der Fläche 121.31 wurde zum Zeitpunkt der dritten Stickstoffgabe zu Winterweizen weitergeführt. Die mit dem N-Tester am 07.06.2005 ermittelte Höhe der dritten N-Gabe für die Winterweizensorte „Ludwig“ betrug 40 kg/ha N. Wie zur zweiten Stickstoffgabe wurde auf beiden Varianten der Biomasseindex des Bestandes mit dem N-Sensor gemessen (siehe Abb. 27). Gegenüber der Biomasseindexmessung zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe fielen die Messwerte höher aus.

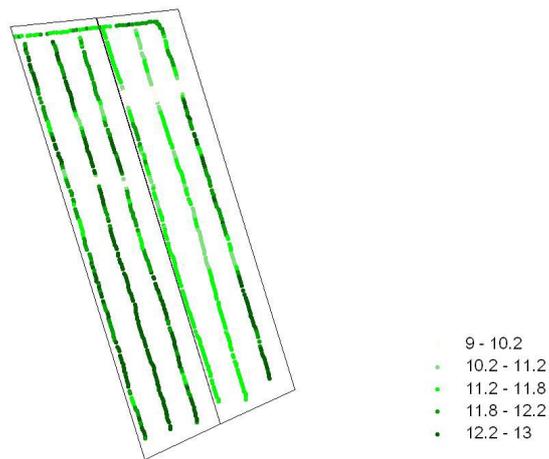


Abbildung 27: Karte der Biomasseindexmessung zum Zeitpunkt der dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84)

Die maximal auszubringende Stickstoffdüngermenge wurde bei Variante A (N-Sensor) auf 80 kg/ha N begrenzt. Die Karte des Streubildes (siehe Abb. 28) ähnelt dem Streubild der zweiten Stickstoffgabe. Gegenüber der konstanten Düngung wurden ca. 24 kg/ha N mehr bei der N-Sensorvariante gestreut (siehe Tab. 9).

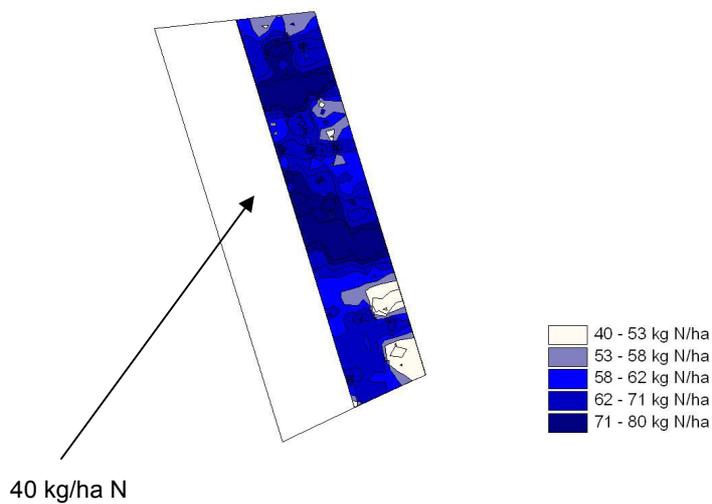


Abbildung 28: Karte der N-Düngung zum Zeitpunkt der dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31 (Projektion WGS84)

Tabelle 9: Statistische Maßzahlen zur dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31

Merkmal	statistische Maßzahl	Variante A N-Sensor-Düngung	Variante B konstante Düngung
Biomasseindex	n	547	471
	μ	11,7	12,2
	s %	3,7	2,0
3. N-Gabe	μ	63,9	40,0
	s %	12,9	

Die Beziehung zwischen Biomasseindex und dritter Stickstoffgabe war nicht mehr so deutlich ausgeprägt wie zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe (siehe Tab. 10). Die Korrelation zwischen den Messwerten des EM38 und N-Sensors (Biomasseindex) stieg insgesamt im Vergleich zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe an. Dies kann als zunehmender Einfluss des verfügbaren Bodenwassers auf den Pflanzenbestand interpretiert werden.

Tabelle 10: Korrelationen zur dritten Stickstoffgabe (07.06.2005) zu Winterweizen „Ludwig“, Schlag 121.31

Variante	Merkmal	Merkmal	Korrelation
Variante A N-Sensor-Düngung	EM38-Messwert	Biomasseindex	0,20
	Biomasseindex	3. N-Gabe	0,45
Variante B konstante Düngung	EM38-Messwert	Biomasseindex	0,58

Für die dritte Stickstoffgabe zu Winterweizen „Am Flugplatz“ (2004) konnten wegen technischer Schwierigkeiten keine Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden.

2.4 Kornertragskartierung

Die bisher dargestellten Methoden und Ergebnisse zeigen Unterschiede beim Nährstoffangebot und der Nährstoffversorgung auf, was Ertragsdifferenzierungen auf den Schlägen erwarten lässt. Der Ertrag eines Schlages wird durch die verschiedensten Parameter (Witterungsverlauf, Boden, Düngung, Krankheiten, Sorte) bestimmt, er schwankt von Jahr zu Jahr und auch innerhalb eines

Schlag es variieren die Erträge mehr oder weniger stark. Die ortsgenaue Erfassung der Erträge erfolgt über die automatisierte Ertragsermittlung der Druschfrüchte und ist häufig der Einstieg in Precision Farming.

Zwei grundlegende Messprinzipien kommen zur Ertragskartierung zum Einsatz. Unterschieden wird zwischen der Durchsatzmessung als Massestrommessung (radiometrische Systeme, Kraft- bzw. Impulsmessung) und der Durchsatzmessung als Volumenstrommessung. Die gewonnenen Daten können mit Fehlern behaftet sein, die verschiedene Ursachen haben, wie Verluste von Erntegut am Schneidwerk oder beim Transport zum Sensor, Verstopfungen, ungenaue Durchsatzmessung am jeweiligen Sensor, Fehler bei der Reduktion des gemessenen Massestromes auf die Masse mit einem definierten Einheitsfeuchtegehalt, falsche Schätzung oder Schwankungen des Messversatzes und Ortungsfehler des DGPS (STEINMAYR 2002). Besondere Aufmerksamkeit bei teilschlagspezifischen Untersuchungen gilt daher in jedem Falle der Aufbereitung der Ertragsdaten.

2.4.1 Verwendete Systeme zur Kornertragskartierung

Auf den untersuchten Flächen kamen zur Ertragskartierung zwei verschiedene Messsysteme zum Einsatz. Das System der Firma CLAAS arbeitet nach dem Prinzip der Volumenstrommessung mit einer Lichtschranke im Körnerelevator. Der Mähdrescher der Firma NEW HOLLAND ist dagegen mit einer Kraft-/Impulsmessung ausgerüstet. (DEMMELE 2001) Die Taktfrequenz der Datenaufzeichnung des NEW HOLLAND-Mähdreschers war höher als beim CLAAS-Mähdrescher. Die Eichung bzw. Anpassung der Ergebnisse beider Mähdrescher ist mit hohem Aufwand verbunden. Über Relativierung der Erträge zum Schlagmittel konnten beide Datenmengen ausgewertet werden.

2.4.2 Beziehung zwischen Leitfähigkeit und Kornertrag

Auf dem Schlag „Am Flugplatz“ ist die Differenzierung der Erträge in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen (EC_a) sehr deutlich ausgeprägt. Der visuelle Vergleich der Ertragskarte (siehe Abb. 29) mit der Leitfähigkeitskarte (siehe Abb. 7) zeigt für zum Beispiel 2004 die niedrigen Erträge besonders auf den sandigeren Schlagteilen.

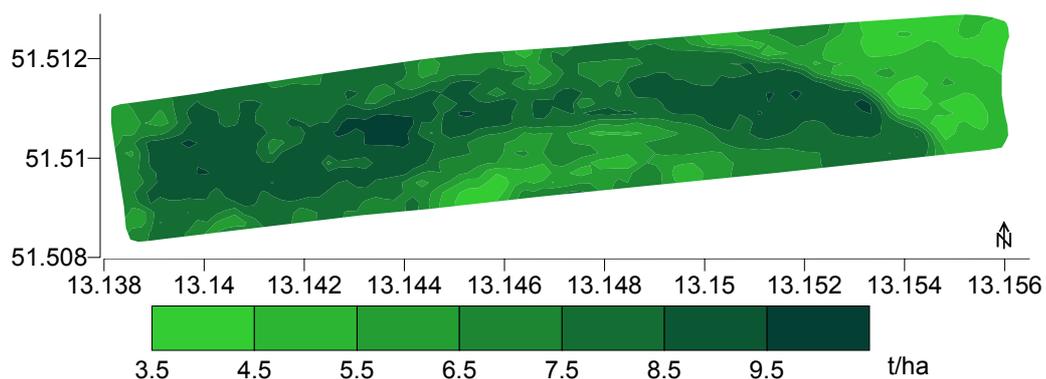


Abbildung 29: Ertragskarte für 2004 (Winterweizen, Frischmasse), Schlag „Am Flugplatz“ (Projektion: WGS84)

Für die mittleren Erträge, bezogen auf Teilbereiche unterschiedlicher Leitfähigkeit an den Probenahmepunkten, bildet sich die Beziehung geringe Leitfähigkeit - geringer Ertrag und hohe Leitfähigkeit - hoher Ertrag für 2004 und 2005 deutlich ab (siehe Tab. 11). Die Unterschiede zwischen den drei Jahren sind durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse zu erklären. Bei günstigem Witterungsverlauf (2004 und 2005) variieren die Erträge innerhalb des Schrages weniger stark und die Teilflächen zeigen ähnliche Ertragsniveaus.

Tabelle 11: Ertrag in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (hoch, mittel, niedrig) und Erntejahr, Schlag „Am Flugplatz“

Erntejahr	Ertrag		Leitfähigkeitsklasse			μ
			hoch	mittel	niedrig	
2003	Winterraps	[%]	104	127	60	100
		[dt/ha]	40	49	23	39
2004	Winterweizen	[%]	114	105	69	100
		[dt/ha]	87	80	52	76
2005	Wintergerste	[%]	113	102	82	100
		[dt/ha]	97	87	70	86

Bei der Analyse aller Ertragswerte besteht in den drei Jahren auf sehr hohen ECa-Werten der Trend, dass die Erträge gegenüber mittleren Leitfähigkeiten leicht zurückgehen. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) wirken sich ungünstig auf das Wachstum kaum durchwurzelbare Bodenaggregate oder dichte, kaum durchlässige Schichten aus, die das Wurzelwachstum behindern oder durch die Bildung von Staunässe zur Verringerung des Wurzelraumes führen. Werden die Mittelwerte der Erträge im Radius von 20 m um die Probenahmepunkte (n = 32) gebildet und in Beziehung zur entsprechenden Leitfähigkeit gesetzt, ergibt sich ein besserer Zusammenhang (siehe Abb. 30). Für den linearen Trend wurde ein von $r^2 = 0,68$ ermittelt und für den nichtlinearen Trend beträgt das Bestimmtheitsmaß sogar 0,83.

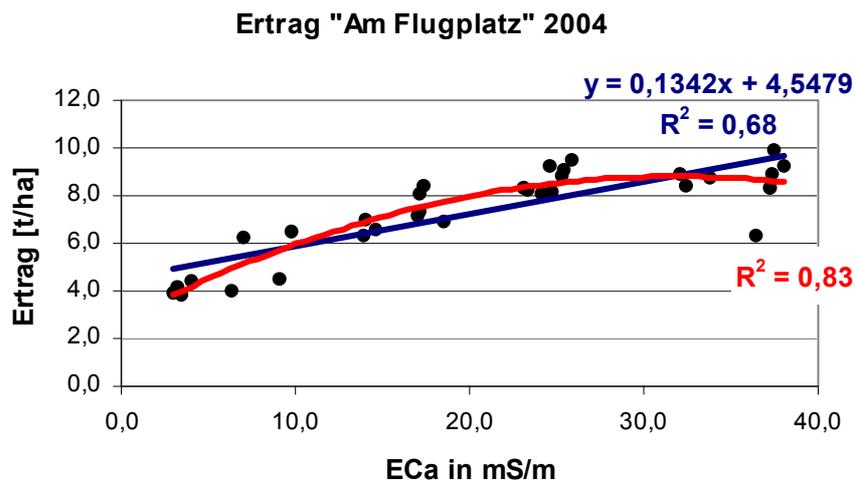


Abbildung 30: Ertrag und elektrische Leitfähigkeit an den Probenahmepunkten (Radius 20 m), Schlag „Am Flugplatz“

„Am Park“ ist die Differenzierung der Erträge 2003 - 2005 nach Bodenleitfähigkeiten nicht so deutlich ausgeprägt wie „Am Flugplatz“. Für 2004 sind die Winterraps-erträge der Fläche „Am Park“ in Abb. 31 dargestellt. Es wird die relativ geringe Differenzierung in der Fläche visuell bestätigt. Bei der Ertragsklassifizierung wird deutlich, dass der größte Flächenanteil der Erträge durch nur zwei Ertragsklassen (28 - 38 dt/ha und 38 - 48 dt/ha) bestimmt wird. Beim Vergleich der Verteilung der Erträge mit den Mustern der elektrischen Leitfähigkeit scheinen gewisse Zusammenhänge zu bestehen, gerade die niedrigsten Leitfähigkeiten werden durch niedrige Erträge bestimmt. Hier wird der Boden ab etwa 60 - 80 cm von Sand mit schlechterem Wasserspeichervermögen unterlagert.

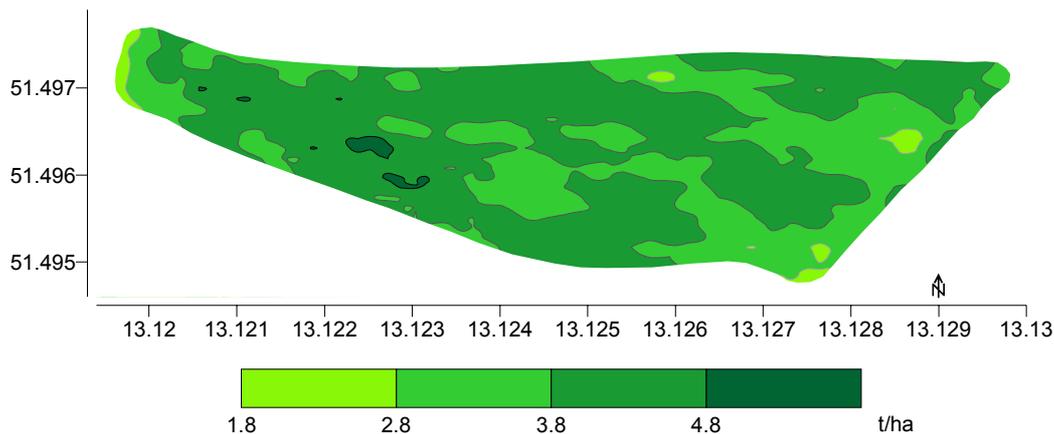


Abbildung 31: Ertragskarte für 2004 (Winterraps, Frischmasse), Schlag „Am Park“ (Projektion: WGS84)

Für 2004 ergibt der nichtlineare Trend bei Einbeziehung aller Datenpaare ein Bestimmtheitsmaß von 0,11. Die Vereinfachung der Daten über gezielte Auswahl und Mittelwertbildung verbessert ebenfalls die Zusammenhänge.

Für die drei Klassen der Leitfähigkeit sind die mittleren Erträge in Tab. 12 aufgeführt. Deutlich werden die geringen Streuungen um das Schlagmittel. Die Erträge auf Flächen unterschiedlicher Leitfähigkeit unterscheiden sich in 2 von 3 Jahren nicht signifikant.

Tabelle 12: Ertrag in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (hoch, mittel, niedrig) und Erntejahr, Schlag „Am Park“

Erntejahr	Ertrag	Leitfähigkeitsklasse			μ	
		hoch	mittel	niedrig		
2003	Wintergerste	[%]	97	101	98	100
		[dt/ha]	46	49	47	48
2004	Winterraps	[%]	108	102	94	100
		[dt/ha]	42	40	37	39
2005	Winterweizen	[%]	100	100	98	100
		[dt/ha]	71	71	69	71

Die Teilfläche 121.31 des Schlags „Schwarzacker“ zeigte ähnliche Abhängigkeiten des Winterweizenenertrags von der Leitfähigkeitsklasse, in Tab. 13 dargestellt. Die Mehrzahl der EM38-Messwerte befindet sich in der mittleren Leitfähigkeitsklasse mit 30 - 36 mS/m. Die niedrige und hohe Leitfähigkeitsklasse decken insgesamt ca. ein Drittel dieser Fläche ab.

Tabelle 13: Ertrag in Abhängigkeit von der Leitfähigkeitsklasse (hoch, mittel, niedrig) 2005, Schlag 121.31

Erntejahr	Ertrag		Leitfähigkeitsklasse			μ
			hoch	mittel	niedrig	
2005	Winterweizen	[%]	105	101	89	100
		[dt/ha]	74	70	62	70

3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Messung der Leitfähigkeit des Bodens kann als unterstützendes Element zur Vorbereitung der Bodenuntersuchung genutzt werden. Statt der N- bzw. Z-Beprobungsmuster oder systematischen Verteilung der Beprobungspunkte über die Fläche ist eine gezielte Beprobung entsprechend der Bodenleitfähigkeitsklassifizierung sinnvoll, wenn die Beprobungspunkte die Bodenleitfähigkeitsklasse repräsentieren und hinreichend Wissen zum Boden an dieser Stelle vorhanden ist. Die Bodenbeprobung auf dem Schlag „Schwarzacker“ wurde an 136 Beprobungspunkten durchgeführt, verteilt auf 34,1 ha. Diese Beprobungsdichte ist für die landwirtschaftliche Praxis zu umfangreich und mit der nachfolgenden Laboruntersuchung auf pH-Wert und Grundnährstoffe kostenintensiv. Mit weiteren Untersuchungen ist zu prüfen, unter welchen Standortvoraussetzungen die Anzahl der Beprobungspunkte bei Beibehaltung eines ausreichenden Informationsniveaus reduziert werden kann.

Die Kartierung der Ergebnisse der Bodenuntersuchung (pH-Wert bzw. Grundnährstoffe) bildet eine solide Voraussetzung für eine begründete teilschlagbezogene Kalkung, Grunddüngung oder Wirtschaftsdüngeranbringung. Hier bestehen im LVG Köllitsch Potenziale bezüglich des effizienteren Einsatzes dieser Betriebsmittel. Auf dem Schlag „Schwarzacker“ (121.3) wurden keine Beziehungen zwischen Bodenleitfähigkeit und Bodenuntersuchungsergebnissen der Schicht 0 - 20 cm festgestellt. Gleiches galt für die Beziehung zwischen Bodenleitfähigkeit und N_{\min} -Bodenuntersuchungswert. Dies ist vorwiegend mit der Flächenbewirtschaftung (hohes Niveau der Grundnährstoffdüngung, regelmäßige Ausbringung von Flüssigmist) erklärbar. Schlussfolgernd ist die Bodenleitfähigkeitsmessung unter den Bewirtschaftungsbedingungen des Schlages „Schwarzacker“, im Sinne der Erstellung von Applikationskarten für die Kalkung, Grundnährstoffe oder ersten Stickstoffgabe, nicht anwendbar, weil die Auswirkungen der Bewirtschaftungsmaßnahmen mögliche Zusammenhänge zur Bodenleitfähigkeitsmessung überlagerten.

Bei ausreichender Bodendifferenziertheit bestehen zwischen der Höhe der N_{\min} -Werte und der Bodenleitfähigkeit Zusammenhänge. Dies konnte anhand der N_{\min} -Bodenuntersuchungsergebnisse des Schlages „Am Flugplatz“ nachgewiesen werden. Auf den Zusammenhang von Bodenleitfähigkeitsmessung und N_{\min} -Wert zu Vegetationsbeginn kann bereits zum Zeitpunkt der ersten Stick-

stoffgabe mit einer Applikationskarte reagiert werden, wenn die Flächenbefahrbarkeit gegeben ist und N_{\min} -Werte feldrepräsentativer Punkte bekannt sind.

Die Biomasseindexmessung mit dem N-Sensor zur Umsetzung der zweiten Stickstoffgabe stand in Abhängigkeit von der Bodendifferenziertheit im Zusammenhang mit den Messungen der Bodenleitfähigkeit. Mit abnehmenden Bodenunterschieden auf dem Schlag nahm dieser Zusammenhang ab. Sehr enge Beziehungen bestanden zwischen dem gemessenen Biomasseindexwert des N-Sensors und der gedüngten Stickstoffmenge, was deutlich für das Funktionieren der internen Algorithmen des N-Sensors spricht. Die geprüften Varianten „variable N-Düngung mit dem N-Sensor“ und „konstante N-Düngung“ zeigten im auswertbaren Jahr 2005 letztendlich keine Ertragsunterschiede. Bei der N-Sensor-Variante wurden im Rahmen der zweiten und dritten Stickstoffgabe zu Winterweizen absolut 13 kg N/ha mehr gedüngt. Unter Berücksichtigung der Variabilität und technologischen Umsetzung der bodengebundenen Stickstoffdüngung kann aber hier nicht von einem signifikanten Unterschied gesprochen werden. Die Biomasseindexmesswerte und Höhe der zweiten und dritten Stickstoffgabe korrelierten nicht eng mit den Messwerten der Leitfähigkeit. Eine engere Korrelation bestand zwischen Bodenleitfähigkeit und Kornertrag (0,52), was wiederum auf die Bodenwasserverfügbarkeit unter den Bedingungen der Vorsommertrockenheit zurückzuführen ist.

Einen besonderen Schwerpunkt stellt die Vorbereitung der N-Gaben mit N-Testermessungen oder anderen dem Zweck entsprechenden Messverfahren dar, weil bei der Auswahl der Messpunkte das Erfassen feld- oder bestandesrepräsentativer Messpunkte über den Erfolg der folgenden Eichung des N-Sensors zur Steuerung der Stickstoffdüngung entscheidet. Die Kalibrierung des N-Sensors bedarf der Erfahrung des Anwenders. In die Eichung des N-Sensors fließt in jedem Fall die subjektive Einschätzung des Anwenders ein, die nicht in jedem Fall hundertprozentig zutreffend sein kann. Dieser Umstand dürfte auf jeden zu kalibrierenden Sensor im Feldeinsatz zutreffen.

Im Wirtschaftsgebiet des LVG Köllitsch mit seiner ausgeprägten Vorsommertrockenheit könnte das Ergebnis der Bodenleitfähigkeitsmessung durch die Zusammenfassung einer fundierten Ertragskartierung ergänzt oder unter Umständen ersetzt werden. Die Messgröße „Leitfähigkeit“ ist ein Summenparameter, der zu einem hohen Anteil vom Tongehalt und folgend vom Bodenwasser bestimmt wird. Selbiges trifft für das Merkmal „Kornertrag“ zu. Es ist deshalb logisch, wenn Schläge mit ausgeprägten Bodenunterschieden wie der Schlag „Am Flugplatz“ stark ähnelnde Karten der Bodenleitfähigkeitsmessung und des Ertrags der Druschfrüchte haben und ausgeprägte Merkmalskorrelationen bestehen. Aus der Ertragskartierung kann aber nicht, wie DIKER et al. (2004) schon feststellte und oben dargelegt wurde, direkt auf Zonen unterschiedlicher Nährstoffversorgung geschlossen werden.

Mit dem vorgestellten Ergebnisauszug aus drei Erntejahren im LVG Köllitsch wurde das Potenzial zur Einsparung von Betriebsmitteln durch die Anwendung geophysikalischer, feldspektroskopischer

Messverfahren sowie der Ertragskartierung sichtbar gemacht. Das Wissen im Landwirtschaftsbetrieb über die Nährstoffversorgung der bewirtschafteten Flächen und die Möglichkeiten zur Steuerung der Pflanzenbestände konnte durch die Anwendung und Auswertung georeferenzierter Messverfahren stark erweitert werden. Es wurde aber auch deutlich, dass der Übergang zu georeferenziert orientierten Arbeitsprinzipien, neben der Bereitschaft zur Investition, eine vorbereitende oder parallele Personalqualifizierung erfordert. Nach den im LVG Köllitsch gesammelten Erfahrungen wird in der Umstellungsphase auf georeferenziertes Arbeiten im Pflanzenbau ein Mehraufwand an Arbeitszeit benötigt, der nicht unmittelbar durch den Erlös aus Mehrerträgen gedeckt wird.

Literatur

DEMMELE, M. (2001): Ertragsermittlung im Mähdrescher. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft [Hrsg.], DLG-Merkblatt 303

DOMSCH, H.; GIEBEL, A. (2004): Estimation of Soil Textural Features from Soil Electrical Conductivity Recorded Using the EM38. In: Precision Agriculture, Vol. 5, 4: 389 - 409

DURLESSER, H. (1999): Bestimmung der Variation bodenphysikalischer Parameter in Raum und Zeit mit elektromagnetischen Induktionsverfahren. Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Bodenkunde

HAASE, G. (1995): Riesa-Torgauer Elbtal. In: Richter, H.; Mannsfeld, K. (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde 238. – Trier, S. 51-53

KING, J.A.; DAMPNEY, P.M.R.; LARK, R.M.; WHEELER, H.C.; BRADLEY, R.I.; MAYR, T.R. (2005): Mapping Potential Crop Management Zones within Fields: Use of Yield-map Series and Patterns of Soil Physical Properties Identified by Electromagnetic Induction Sensing. In: Precision Agriculture, Vol. 6, 2: 167 - 181

KITCHEN, N.R.; DRUMMOND, S.T.; LUND, E.D.; SUDDUTH, K.A.; BUCHLEITER, G.W. (2003): Soil Electrical Conductivity and Topography Related to Yield for Three Contrasting Soil-Crop Systems. In: Agron. J., 95: 483-495

LIEBLER, J. (2003): Feldspektroskopische Messung zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen. Dissertation

LUDOWICY, C.; SCHWAIBERGER, R.; LEITHOLD, P. (2002): Precision Farming: Handbuch für die Praxis. - 1. Aufl., DLG Verlag

LÜCK, E.; EISENREICH, M.; DOMSCH, H., BLUMENSTEIN, O. (2000): Geophysik für Landwirtschaft und Bodenkunde. In: Blumenstein, O. Schachtzabel, H. (Hrsg.), Stoffdynamik in Geosystemen, Bd. 4, Univ. Potsdam

LÜCK, E.; EISENREICH, M.; DOMSCH, H. (2002) Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft. In: Blumenstein, O.; Schachtzabel, H. (Hrsg.), Stoffdynamik in Geosystemen, Bd. 7, Univ. Potsdam

REXROTH, E. (2005): Lehr- und Versuchsgut Köllitsch- Forschung und Ausbildung im Überblick. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.)

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. - 14. Aufl., Stuttgart

SCHMIDHALTER, U.; SELIGE, T. (2002): Fernerkundungsgestützte Ableitung bodenbürtiger Ertragspotenziale für standortspezifische Bewirtschaftung. Werner, A.; Jarfe, A. (Hrsg.) (2002): Precision agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Verbundprojekt pre agro. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Sonderveröffentlichung 038, S. 211-218

SCHMIDT, V.; DOMSCH, H. (2001): Beziehungen zwischen dem Standort und der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit von Ackerböden In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 96, 2: 559-560

STENGER, R. (1996): Dynamik des mineralischen Stickstoff in einer Agrarlandschaft:- Monitoring – Prozessstudien – Simulationen. FAM-Bericht Bd. 10, Aachen. zugl. München, Techn. Univ., Dissertation 1995

STEINMAYR, T. (2002): Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung. Technische Universität München, Dissertation

TREUE, P. (2002): Potenziale und Grenzen teilflächenspezifischer N-Düngung in Schleswig Holstein/ Precision Agriculture. Schriftenreihe d. Instituts f. Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung- Univ. Kiel. zugl. Dissertation

www.agricon.de (letzter Zugriff 18.10.2006)

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
Jens Ponitka, Dr. Jörg Pößneck
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341/9174-184
Telefax: 0341/9174-189
E-Mail: jens.ponitka@smul.sachsen.de
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: birgit.seeber@smul.sachsen.de
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Dezember 2006

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.