

2.4 Geophysikalische Erfassung von Standorteigenschaften (TP II-6a, Teil I)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. U. Schmidhalter

Bearbeiter: Dipl. Geogr. J. Raupenstrauch, Dr. T. Selige, Dipl. Ing. agr. J. Bobert

2.4.1 Zusammenfassung

In Teilprojekt II-6a werden teilflächenspezifische Bodeneigenschaften und Standortpotentiale mittels Geophysik, dynamischer Modellierung und Fernerkundung bestimmt (siehe auch Kapitel 3.5 und 5.4). Im Arbeitsbereich „Geophysik“ wurden mit Hilfe elektromagnetischer Induktion 2.800 ha Ackerland auf acht Betrieben in geographisch und klimatisch sehr unterschiedlichen Regionen kartiert. Die Informationen, die durch elektromagnetische Induktion erhalten werden, bieten einen interessanten Ansatz zur nichtdestruktiven Kartierung von Bodenheterogenitäten. Mit dieser Methode können Substratunterschiede erkannt und im Felde abgegrenzt werden. Bereiche verschiedener Bodensubstrate konnten durch elektromagnetische Induktion besser abgegrenzt werden als durch die Reichsbodenschätzung. Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten zeigten vergleichbare Muster der elektrischen Leitfähigkeit über die Zeit hinweg.

Die ermittelten Werte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) wurden mit verschiedenen anderen Informationsquellen verglichen (Reichsbodenschätzung, Ertragskarten, spektrale Informationen aus Fernerkundungsaufnahmen). Bodenschätzdaten (Punktinformationen der Grablöcher) standen zur ECa in einer Beziehung von $r^2 = 0,01-0,71$. In wasserlimitierten Gebieten konnten auf heterogenen Feldern relativ enge Beziehungen zum Ertrag und zu Fernerkundungsaufnahmen gefunden werden.

ECa-Messungen stellen eine schnelle Methode zur Ermittlung von Bodenunterschieden dar. Die bisherigen Ergebnisse lassen erkennen, dass in Trockengebieten auf heterogenen Standorten die ECa-Karte direkt in teilflächenspezifische Managementmaßnahmen umgesetzt werden kann. In diesen Gebieten ergibt sich das höchste, kurzfristig umsetzbare Potential der Nutzung von ECa-Daten. Die komplexen Interaktionen in humideren Gebieten und vor allem die bessere Tiefenauflösung der ECa-Messungen erfordern eine weitere Bearbeitung.

Summary

2.800 ha of arable land in largely different geographic and climatic zones were mapped by electromagnetic induction. The information obtained from electromagnetic induction offers an interesting simplified and cheap alternative to map soil heterogeneity. ECa measurement of the apparent electrical conductivity (ECa) were compared to other information sources representing spatial variability (German soil rating, yield maps, spectral information from remote sensing). Multi-temporal measurements showed comparable patterns in ECa over time. Zones of different soil substrates could better be delineated by electromagnetic induction than by the previously existing information from the national soil rating. The closest relation of Ea and soil rating was found on the more heterogeneous sites. On such sites, fairly good correlation to yield were found. The interpretation of ECa information is quite straightforward as compared to other sources of spatial information. Yields may be closely related to soil-borne factors and thus to maps of ECa. Alternatively the weather influence may

mask this relation which calls for a more sophisticated approach by combining static soil information with weather scenarios.

2.4.2 Bezüge im Verbundprojekt

Die geophysikalischen Leitfähigkeitskarten dienen als Grundlage für die Entwicklung der digitalen Hof-Bodenkarten (TP II-1a) sowie als Interpretationsgrundlage für das TP II-1b (Relief) und das TP IV-4a (Regionaler Stoffaustrag). Die in den Jahren 1999 und 2000 durchgeführten Entscheidungen zur Bestandesführung, Bodenbearbeitung und Düngung haben als wesentliche Entscheidungsgrundlage die Leitfähigkeitskarten des TP II-6a (Bodenwasserspeicher) eingesetzt.

2.4.3 Einleitung und Problemstellung

Die Kenntnis der Standortheterogenität des Bodens spielt für die Präzisionslandwirtschaft eine zentrale Rolle. Konventionelle Bodenuntersuchungen sind sehr aufwendig und teuer. Nur in seltenen Fällen gelingt es, eine ausreichende Flächendichte zu erreichen, die als Basis für die Ableitung von teilflächenspezifischen Maßnahmen genutzt werden kann. In diesem Teilvorhaben wird versucht, mit einem alternativen Verfahren Bodenunterschiede flächendeckend zu beschreiben. Als Bestandteil der Validierung werden diese Informationen mit anderen Punkt- oder Flächendaten verglichen.

Ziel dieses Teilvorhabens ist die Ableitung teilflächenspezifischer Bodeneigenschaften und Standortcharakteristika mit einem nichtdestruktiven Verfahren, basierend auf geophysikalischer Induktion.

2.4.4 Material und Methoden

2.4.4.1 Prinzip der Methode

Die geophysikalische Bodenkartierung mit dem berührungsfreien, elektromagnetischen Verfahren EM 38 (Geonics Ltd., Missisauga, Ontario, Canada) basiert auf einer georeferenzierten Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (ECa) und einer Kalibrierung der Messwerte. Eine Spule induziert ein magnetisches Wechselfeld im Boden, das ein sekundäres Feld erzeugt, welches von einer zweiten Spule registriert wird. Aus dem Verhältnis beider Felder lässt sich die mittlere ECa über ca. 1,5 m Tiefe bestimmen. Die Messungen können in zwei Modi durchgeführt werden, wobei der vertikale Modus die größte Messdichte in 40 cm Bodentiefe und der horizontale Modus die größte Messdichte an der Bodenoberfläche aufweist. Die scheinbare Leitfähigkeit wird primär durch die Textur des Bodens, vor allem den Tongehalt, den Wassergehalt und die Leitfähigkeit der Bodenlösung bestimmt.

Da die Bodentemperatur den Messwert und die Lufttemperatur das Messgerät beeinflusst, müssen sie bei der Messung berücksichtigt werden.

2.4.4.2 Durchgeführte Arbeiten

Die Untersuchungen wurden auf acht verschiedenen Betrieben nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion durchgeführt. Es wurden Karten der elektrischen Leitfähigkeit (ECa) von 73 Feldern erstellt. Die Kartierungen wurden hauptsächlich im Herbst 1999 und im Frühjahr 2000 durchgeführt. Um den Einfluss unterschiedlicher Kartierzeiten besser zu verstehen, wurden auf einem Feld Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit variab-

len Bodenwassergehalten durchgeführt. Auf ausgewählten Standorten wurden begleitende Untersuchungen der Bodentextur, des Bodenwassergehaltes und der elektrischen Leitfähigkeit der Bodenlösung als Haupteinflussfaktoren der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit durchgeführt. Ein Teilziel dieses Vorhabens war der Vergleich von ECa-Karten und anderen Informationsquellen zur Darstellung räumlicher Heterogenität. Dazu gehören die Informationen der Reichsbodenschätzung, Texturinformationen des Teilprojektes Hof-Bodenkarten, Fernerkundungsdaten sowie Daten aus Ertragskarten. Diese sollten damit als indirekte Validierungsgrundlagen verwendet werden.

2.4.5 Ergebnisse

2.4.5.1 Methodische Entwicklungen

Eine robuste und schnelle Methode wurde entwickelt, die eine tägliche Messleistung von bis zu 150 ha ermöglicht. Die Messungen erfolgen zerstörungsfrei. Die Kartiergeschwindigkeit wurde hauptsächlich durch die Größe des Feldes begrenzt. Ein EM38-Sensor wurde auf einem Schlitten befestigt, der von einem Auto, das mit DGPS ausgerüstet war, gezogen wird. Online Informationen der ECa wurden mit einer Auflösung von 5 x 20 m ermittelt. Die Felder wurden mit über 100 Messpunkten pro Hektar charakterisiert. Dies liegt weit über dem, was mit alternativen Methoden zu erreichen ist.

Leitfähigkeitskarten können gezielt genutzt werden, um vereinfacht und selektiv auf einer reduzierten Anzahl von Standorten innerhalb eines oder mehrerer Schläge bzw. auch regionsumfassend Bodenproben mit dem Bohrstock zu entnehmen. Damit können ECa-Werte in Bodenkenngößen, wie z. B. den Tongehalt übertragen werden.

Zur Vereinfachung dieses Kalibrierungsschrittes sind Entwicklungsarbeiten durchgeführt worden, die es ermöglichen, die Leitfähigkeit der Bodenlösung direkt im Bohrkern zu bestimmen. Ein vereinfachter Ansatz ist ebenfalls getestet worden, der eine direkte Bestimmung des Wassergehaltes im Bohrkern ermöglicht. Weiterführende Arbeiten zielen vor allem auf die vereinfachte Texturbestimmung, die mit einem sehr hohen Laboraufwand verbunden ist. In Vorarbeiten konnte ein sehr interessantes Potential einer vereinfachten Texturbestimmung ermittelt werden.

2.4.5.2 Kartierung

Karten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit wurden für 2.800 ha Ackerland erstellt. Die erhaltenen Informationen repräsentieren acht verschiedene Betriebe in Deutschland und decken stark unterschiedliche geographische Bereiche mit sehr verschiedenen Bodentypen ab. Eine Karte der elektrischen Leitfähigkeit einer Fläche von 360 ha von 4 Feldern zeigt Abbildung 2.4-1. Die elektrische Leitfähigkeit variiert von sehr niedrigen Werten ($5\text{-}10 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$) bis zu Werten von $100 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$.

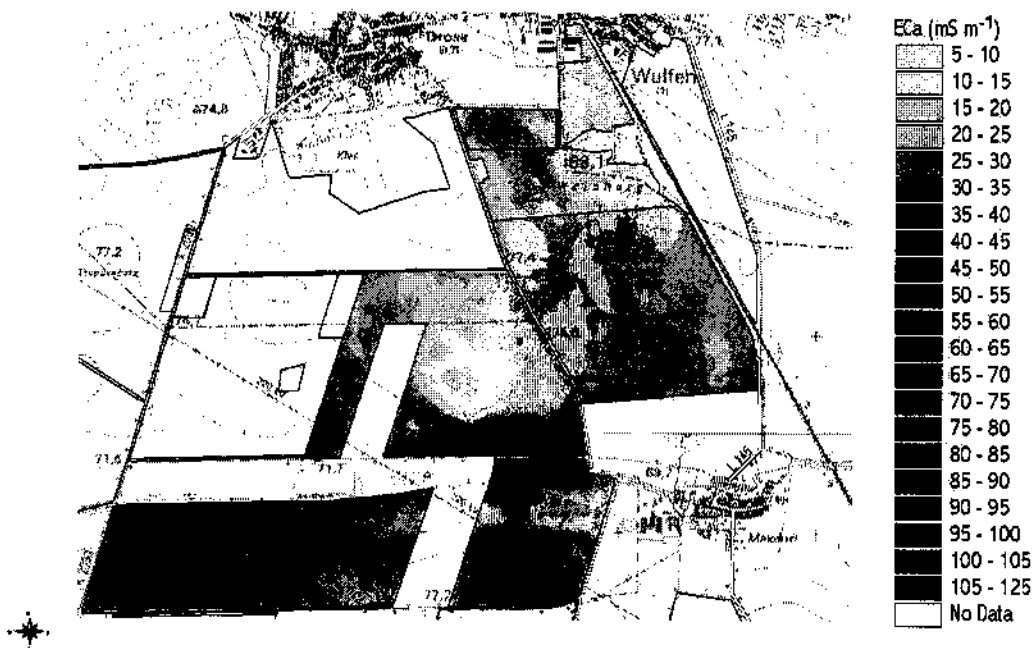


Abb. 2.4-1: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) von vier Feldern (Wulfen, 360 ha)

Fig. 2.4-1: Map of the apparent electrical conductivity (ECa) of four fields 360 ha in size

Generell sind niedrige Werte typisch für Sandböden ($5 - 15 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$), während höhere Werte ($30 - 60 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$) tonreichere Böden repräsentieren, dazwischen liegen Werte, die für lehmige Böden typisch sind. Sehr hohe Werte (über $60 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$) scheinen überwiegend den Einfluss hoher Wassersättigung, häufig in Kombination mit lehmig-tonreichen oder/und organischen Böden (bspw. humoser Oberboden mit tonreichem Anmoor-Gley-Horizont im Unterboden) und zusätzlich den Einfluss relativ hoher Salzgehalte der Bodenlösung widerzuspiegeln.

2.4.5.3 Abgrenzung von Bodensubstraten

Karten der elektrischen Leitfähigkeit erlauben die Abgrenzung von Zonen verschiedener Bodensubstrate mit hoher Genauigkeit. Die ECa-Werte passen sich zudem gut dem Relief des Geländes an. Bisherige Erfahrungen belegen, dass ECa-Messungen zu einer besseren Abgrenzung unterschiedlicher Bodensubstrate führen als die Reichsbodenschätzung, deren Polygone gelegentlich wenig genau die realen Bodenunterschiede wiedergeben (Abb. 2.4-2).

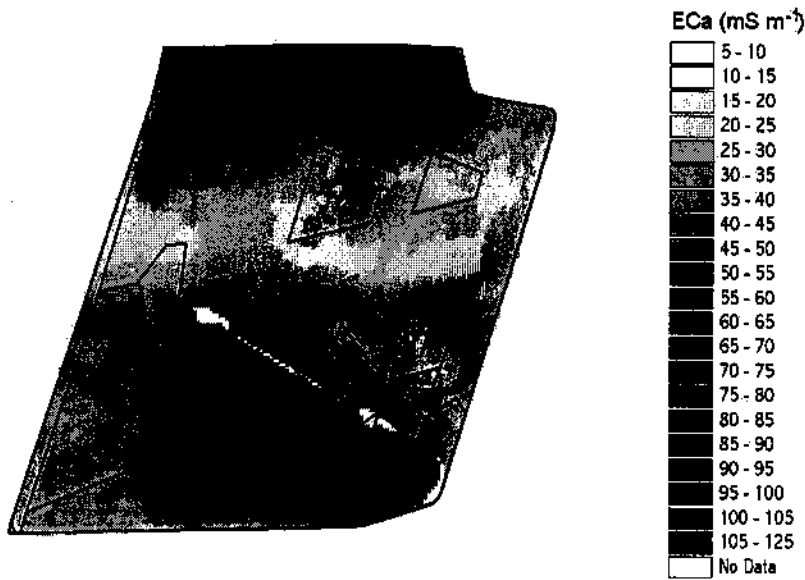


Abb. 2.4-2: Bereiche unterschiedlicher Bodeneinheiten, wie sie durch die Reichsbodenschätzung abgegrenzt wurden, sind auf einer Karte der elektrischen Leitfähigkeit dargestellt

Fig. 2.4-2: Zones of different soil units are indicated by the previously existing soil rating (polygons) drawn on a map of the apparent electrical conductivity

2.4.5.4 Zeitpunkt der Kartierung

Werte der elektrischen Leitfähigkeit wurden zu verschiedenen Jahreszeiten ermittelt. Während Messungen bei Feldkapazität zur Kartierung der Bodentextur bevorzugt werden, können zusätzliche Messungen im Sommer oder Herbst Hinweise über Veränderungen des Wassergehaltes geben, da sich der Tongehalt der Böden nicht ändert.

Da ECa-Messungen bei verschiedenen Wassergehalten durchgeführt wurden, wurde überprüft, ob die Werte der elektrischen Leitfähigkeit beeinflusst werden und ob sich das spezifische ECa-Muster jahreszeitlich verändert. Für die Untersuchungen wurde ein Feld mit 89 ha gewählt, das im April 1999 bei erhöhten Wassergehalten und im September 2000 bei trockenen Bedingungen kartiert wurde. Die Werte korrelierten eng miteinander ($r^2 = 0,88$, Abb. 2.4-3). Niedrigere Bodenwassergehalte im September ergaben etwas niedrigere Werte, ca. $0 - 15 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$, als im April. Sowohl die Ergebnisse dieses Schläges als auch andere multitemporale Messungen zeigen, dass die Muster der elektrischen Leitfähigkeit nicht stark variieren. Messungen können insofern während des ganzen Jahres durchgeführt werden. Aus Vergleichbarkeitsgründen und vor allem für Kalibrierungszwecke werden Messungen jedoch bevorzugt bei Feldkapazität des Bodens durchgeführt.

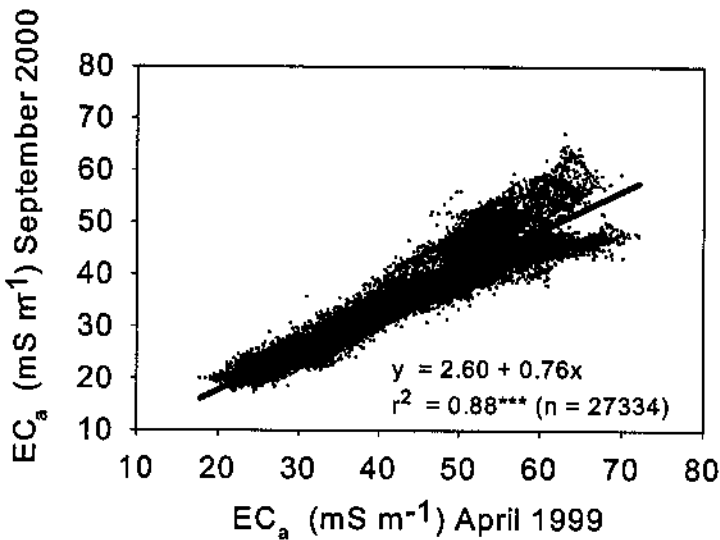


Abb. 2.4-3: Beziehung zwischen ECa-Messungen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten

Fig. 2.4-3: Relation of bi-temporal measurements and the apparent electrical conductivity

2.4.5.5 Kalibrierung und Validierung

Für die Übertragung von ECa-Werten in Bodenkenngrößen müssen Kalibrierungen durchgeführt werden, die es ermöglichen, die Beeinflussung des ECa-Signals durch die wichtigen Einflussgrößen Tongehalt, Wassergehalt und Leitfähigkeit der Bodenlösung zu ermitteln. Daraus lassen sich beispielsweise Tongehaltskarten ableiten. Alternativ können zur Bewertung der ECa-Werte andere flächige Daten herangezogen und korrelative Zusammenhänge ermittelt werden. Daraus leitet sich eine empirische Validierung der ECa-Werte ab.

Beziehung des ECa-Signals zu Texturgrößen, Wassergehalt und Leitfähigkeit der Bodenlösung

Die ECa-Werte resultieren aus einem komplexen Wirkungsgefüge der zentralen Einflussgrößen Textur des Bodens, Bodenwassergehalt, Leitfähigkeit der Bodenlösung und der Trockenraumdicke. Diese hochkomplexe Beziehung konnte bis anhin nicht befriedigend genau modellhaft abgebildet werden. Vereinfacht lässt sich jedoch zeigen, dass einige Faktoren einen stärkeren Einfluss auf die Ausprägung des ECa-Signals haben. Am stärksten wirkt sich dabei der Tongehalt aus, gefolgt vom Wassergehalt und der Leitfähigkeit der Bodenlösung. Damit können Vereinfachungen durchgeführt und einfache bspw. lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Einflussgrößen und dem ECa-Signal ermittelt werden. Während unter definierten Bedingungen häufig sehr enge Beziehungen nachgewiesen werden können, sind die Zusammenhänge unter Feldbedingungen weniger eng, bedingt z. T. auch durch die komplexe Signalverteilung über die Bodentiefe. Trotzdem ergeben sich bei einfachen korrelativen Ansätzen nicht wesentlich bessere Einzelbeziehungen bei Berücksichtigung der Signalstärkenverteilung mit der Tiefe.

Ausführliche Kalibrierungsuntersuchungen im Felde haben gezeigt, dass die ECa-Werte am engsten mit dem Tongehalt korrelieren ($r^2 = 0,31 - 0,67$). Ähnliche Werte ($r^2 = 0,31-0,64$)



finden sich beim Wassergehalt, wobei der Wassergehalt häufig mit dem Tongehalt autokorreliert. Weniger enge Beziehungen finden sich zur Leitfähigkeit der Bodenlösung.

Die im Rahmen der Hofbodenkarten gewonnenen Texturgrößen wiesen im Gegensatz zu bisherigen Erfahrungen keinen Zusammenhang zum ECa-Signal auf. Um dieses atypische Ergebnis zu überprüfen, sind zusätzliche Texturuntersuchungen in vergleichbaren Schlägen durchgeführt worden. Da die Analysenergebnisse bisher noch nicht vorlagen, kann darüber erst mit Abschluss des Vorhabens berichtet werden.

Bisherige Erfahrungen deuten daraufhin, dass Veränderungen des absoluten Wassergehaltes mit der vorhandenen EM38 Technik nicht genügend empfindlich nachgewiesen werden können. Für Kalibrierungsuntersuchungen sollten Bestimmungen bei möglichst feuchten Bodenzuständen durchgeführt werden. Bei trockeneren Bedingungen ergibt sich ein Rückgang im leitenden Querschnitt des Bodens, dies führt zu einer schwächeren Beziehung zwischen den ECa-Werten und dem Tongehalt.

Vergleich der ECa-Werte mit Ergebnissen der Reichsbodenschätzung

Mit der ECa-Kartierung lässt sich eine bessere Abgrenzung von Bereichen unterschiedlicher Bodensubstrate erreichen als mit den verfügbaren Informationen der Reichsbodenschätzung (RBS). Die Informationen der Bodenschätzung liegen in unterschiedlicher Intensität (50 m-Bohraster, Grablöcher, Klassengrenzen), Vollständigkeit (z. B. nur Klassengrenzen) und Form vor. Zum Teil liegen sie in digitalisierter Form vor, häufig jedoch ist eine mühsame und zeitaufwendige Übersetzung aus den Schätzbüchern nötig. Dies erfordert zusätzliche Schritte in der Digitalisierung und eine weitere Umsetzung in eine moderne Nomenklatur. Die Qualität der Daten ist sehr unterschiedlich zu bewerten. Die Intensität der Grablochdaten ist eher ungenügend mit einem Beschrieb pro 2-4 ha, manchmal aber auch nur mit einer Information pro 10-40 ha. Im Vergleich dazu ergeben sich bei der ECa-Kartierung 75-100 Informationen pro ha. Vergleiche mit der Reichsbodenschätzung sind aufgrund der relativ geringen Anzahl von Datenpunkten nur eingeschränkt durchführbar.

Korrelationskoeffizienten der linearen Regression zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und Bodenzahlen der Reichsbodenschätzung variierten bei elf verschiedenen Feldern in vier verschiedenen Regionen zwischen $r^2 = 0,01$ und $0,71$ (Tab. 2.4-1). Für den Betrieb Wulfen mit sehr heterogenen Flächen und einer weiten Spanne an ECa-Werten lagen die r^2 -Werte zwischen $0,31$ und $0,71$, mit Ausnahme eines relativ homogenen Feldes. Die Spannweite der ECa-Werte in Kassow war wesentlich kleiner als im Betrieb Wulfen.

Tab. 2.4-1: Korrelationskoeffizienten der linearen Regression (r^2) zwischen ECa und Bodenzahlen der Reichsbodenschätzung von vier Betrieben und unterschiedlichen Feldern. Signifikanzniveaus und die Anzahl der vorhandenen Informationen sind angegeben.

Tab. 2.4-1: Correlation coefficients of linear regression (r^2) of ECa and soil rating from four farms. Significance levels and the number of information are indicated.

Betrieb	Felder					
Wulfen	Finkenherd 0,49 ^{n.s.} (n = 8)	Mühlbreite 0,09 ^{n.s.} (n = 10)	Wu641/632 0,71 ^{***} (n = 9)	Dornbock 0,31 ^{***} (n = 43)	Pilsenhöhe 0,53 [*] (n = -)	11)
Thumby	Ottenkamp 0,33 ^{**} (n = 20)	Alt-Grünholz 0,18 ^{n.s.} (n = -)		-		9)
Kassow	104 0,29 ^{**} (n = 25)	106 0,17 [*] (n = 25)	107 0,23 ^{**} (n = 29)	111 0,01 ^{n.s.} (n = -)		19)
Queis	Bullenstall 0,50 ^{**} (n = 14)					

Die Zusammenhänge sind am engsten auf Standorten mit besonders heterogenen Böden, und erwartungsgemäß ergeben sich keine Beziehungen auf wenig variablen Standorten.

Vergleich der ECa-Daten mit Ertragskarten

Auf heterogenen, wasserlimitierten Standorten wie bspw. in Wulfen ergaben sich relativ gute Korrelationen zwischen den ECa-Werten und Ertragsdaten (Abb. 2.4-4). Dies lässt den Schluss zu, dass unter solchen Bedingungen das bodenbürtige Standortpotential wesentlich die Ertragssituation bestimmt und ECa-Karten eine direkte Ableitung ertragsbegrenzender Faktoren erlauben. Auf homogenen Standorten ist keine enge Beziehung aufgrund der kleinen Variationsbreite zu erwarten.

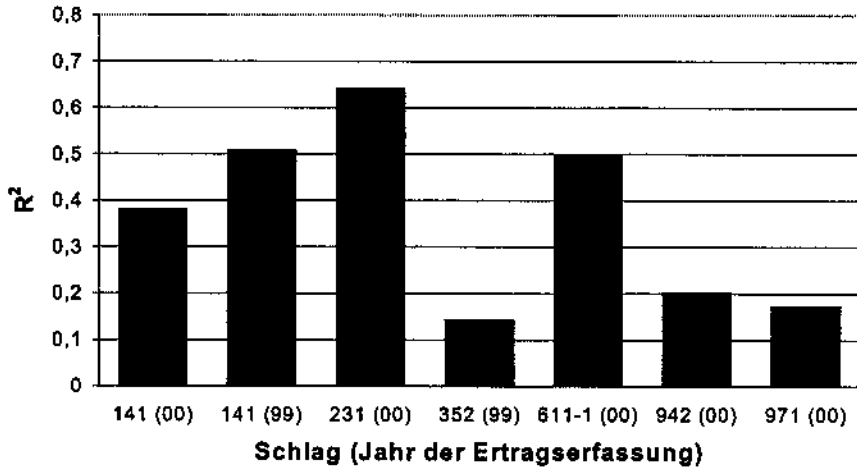


Abb. 2.4-4: Bestimmtheitsmaß der Beziehung zwischen ECa-Daten und Ertragsdaten verschiedener Schläge. In Klammern ist das Jahr der Ertragsfassung angegeben.

Fig. 2.4-4: Coefficients of determination of the relation of yield and ECa. The year of yield determination is given in brackets

Diese Beziehungen waren auf anderen Standorten weniger eng. Dies kann auf mehrere Faktoren zurückgeführt werden: Geringere Ertragsbegrenzung durch die nFK aufgrund höherer Niederschläge, z. T. auch geringere Variationsbreiten sowohl der ECa-Werte wie der Ertragswerte. Die Qualität der Ertragskarten weist zudem deutliche qualitative Unterschiede zwischen den verschiedenen Standorten auf. In einigen Fällen stellten die Ertragskarten keine verlässliche Bewertungsgrundlage dar, da nicht plausible Daten vorlagen.

Bisherige Auswertungen zeigen in der Regel mit höheren ECa-Werten höhere Erträge an, wobei bei besonders hohen Werten, in der Regel besonders tonreichen Standorten, ein Ertragsrückgang beobachtet wird.

Vergleich der ECa-Daten mit Fernerkundungsinformation

Standorte in Trockengebieten mit relativ stabilen Ertragsmustern über die Jahre weisen relativ enge Beziehungen zwischen Fernerkundungsinformationen und ECa-Daten auf (Abb. 2.4-5, s. Anhang). Zum Teil ergaben sich sogar engere Beziehungen zwischen Informationen aus Ertragskarten und den ECa-Werten als zu fernerkundlich ermittelten Informationen. Die Vergleiche konnten nur mit absolut kalibrierten Daten durchgeführt werden und beschränkten sich somit auf die im gleichen Teilprojekt vorliegenden Fernerkundungsaufnahmen. Für andere Gebiete konnten diese Vergleiche aus den oben erwähnten Gründen nicht durchgeführt werden.

Festlegung von bodenbürtigen Ertragspotentialzonen und Ableitung von Managementeinheiten

ECa-Karten eignen sich zur Abgrenzung von Bereichen unterschiedlicher Bodensubstrate. Diese Informationen können somit gezielt auch in der Abgrenzung von Managementeinheiten eingesetzt werden. ECa-Daten weisen den Vorteil der relativ leichten Interpretierbarkeit auf, allerdings ist weiterhin ein vertiefteres Verständnis zu entwickeln. Insofern sind die ECa-Werte anderen Informationsangaben überlegen, die keinen direkten Rückschluss auf die Ursachen der Ertragsbegrenzung ermöglichen. In wasserlimitierten Gebieten kann dieses Wissen auch durch Fernerkundungsinformation, basierend auf ground-truth Daten, geschaf-

fen werden. Aus Ertragskarten lässt sich nicht direkt eine Ursächlichkeit ableiten, was zu Fehlern in der Interpretation der Ertragsunterschiede führen kann.

Sinnvollerweise werden mehrere Informationsquellen genutzt, um Festlegungen von Managementeinheiten durchzuführen, bspw. ECa-Daten und Ertragsdaten oder ECa-Daten und Fernerkundungsinformationen.

Die bisherigen Ergebnisse lassen erkennen, dass in Trockengebieten auf heterogenen Standorten die ECa-Karte direkt in teilflächenspezifische Managementmaßnahmen umgesetzt werden kann. In diesen Gebieten ergibt sich das höchste, kurzfristig umsetzbare Potential der Nutzung von ECa-Daten.

In niederschlagsreicheren Gebieten überlagern die höheren und weniger gut vorhersagbaren Niederschläge die bodenbürtige Standortinformation. In solchen Gebieten ist eine Kombination von mapping-Ansätzen mit online erfassten Informationen wünschenswert. Frühzeitige Maßnahmen können jedoch auch hier nur auf mapping-Informationen abgestützt werden.

2.4.6 Offene Fragen und Ausblick

Die komplexe Interaktion der Einflussfaktoren, die das ECa-Signal bestimmen, wird auch im heutigen Zeitpunkt noch ungenügend mechanistisch verstanden und erfordert zusätzliche Anstrengungen. Im Gegensatz zur herkömmlichen Bodensondierung lassen sich damit zur Zeit keine detaillierten Tiefeninformationen gewinnen, sondern man erhält eine tiefengewichtete Information. Eine Erweiterung dieses Verständnisses ist sehr erwünscht, insbesondere ist eine präzisere Beschreibung der Textur des Bearbeitungshorizontes besonders anstrengenswert. Methodisch lässt sich dies am ehesten durch veränderte Messgeometrien (Spulenabstand) und höher frequente Wechselspannungen erreichen.

Als weiterer wichtiger Schritt ist insbesondere, nicht nur für die Kalibrierung der ECa-Daten sondern vieler anderer flächiger Untersuchungsmethoden, eine Vereinfachung der durchzuführenden Kalibrierung zu erreichen. Die primären Ziele richten sich auf eine vereinfachte Labormethode, die zu raschen Texturinformationen führt. Erreichbar scheint die vereinfachte in-situ-Analyse der elektrischen Leitfähigkeit der Bodenlösung und des Wassergehaltes des Bodens.

2.4.7 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die Informationen, die durch elektromagnetische Induktion erhalten werden, bieten einen interessanten Ansatz zur nichtdestruktiven Kartierung von Bodenheterogenitäten. Mit diesem neu entwickelten Verfahren lassen sich vereinfacht Bodenheterogenitäten bis ca. 2 m Tiefe integrativ erfassen. ECa-Karten sind ziemlich zeitunabhängig über das ganze Jahr hinweg erstellbar, was bedeutet, dass die Kartierung zu jeder Zeit während des Jahres oder in verschiedenen Jahren durchgeführt werden kann, obwohl Messungen bei Feldkapazität vorteilhaft sind. Die elektrische Leitfähigkeit korreliert mit der Textur (Tongehalt), dem Wasser- und dem Salzgehalt des Bodens. Die Stärken dieses Verfahrens sind die leichte Beschaffbarkeit der Information, da je nach Parzellierungsgrad bis zu 100 und mehr Hektar pro Tag gemessen werden können. Die Kosten für diese lange Zeit gültigen Informationen liegen unter denen der Nährstoffuntersuchung und stellen eine langfristig gültige Investition dar. Die Interpretation der Information ist relativ unkompliziert im Vergleich zu anderen räumlichen Informationen, wie beispielsweise Ertragskarten oder Fernerkundungsaufnahmen, und es ist keine Messung über mehrere Jahre erforderlich. Mit dieser Methode können Substratunterschiede erkannt und im Felde abgegrenzt werden. Der Ertrag kann eng mit Bodenfaktoren

und deshalb mit ECa-Messungen korrelieren. Die Zusammenhänge sind besonders bei leichten Böden eindeutig und können somit in präzise Bewirtschaftungsmaßnahmen umgesetzt werden. Obschon die Leitfähigkeit in mittleren und schwereren Böden zunimmt, sind die Zusammenhänge dort komplexer, da auch Wechselwirkungen mit dem Wassergehalt vorkommen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass auf heterogenen Standorten, die wasserlimitiert sind, ein sehr gutes Potential zur Abgrenzung von Bewirtschaftungseinheiten vorhanden ist. Die komplexen Interaktionen in humideren Gebieten und vor allem die bessere Tiefenauflösung erfordern eine weitere Bearbeitung.

2.4.8 Literatur

- Bobert, J.; F. Schmidt; R. Gebbers; T. Selige; U. Schmidhalter (2001): Estimating soil moisture distribution for crop management with capacitance probes, EM-38 and digital terrain analysis. In: Grenier, G.; S. Blackmore (Eds.): Third European Conference on Precision Agriculture Proceedings, Montpellier,
- Neudecker, E.; U. Schmidhalter; C. Sperl; T. Selige (2001): Site-specific soil mapping by electromagnetic induction. In: Grenier, G.; S. Blackmore (Eds.): Third European Conference on Precision Agriculture Proceedings, Montpellier, France, p. 271-276
- Schmidhalter, U.; A. Zintel (1999): Schätzung der räumlichen Variabilität des Ton- und Wassergehalts mit elektromagnetischer Induktion. Mittl. Dtsch. Bodkdl. Ges. 91, 871-841
- Selige, T; A. Werner; T. Muhr; U. Schmidhalter (2001): Interdisciplinary research for precision agriculture – preagro: the German joint project for an integrated management system. In: Tupper, G. (Ed.) Proceedings of the Australian Geospatial Information and Agriculture Conference incorporating Precision Agriculture in Australasia 5th Annual Symposium, NSW Agriculture, Orange, NSW, Australia, p. 507-527