

11 Geophysikalische und fernerkundliche Ermittlung teilflächenspezifischer Ertragspotentiale auf der Grundlage des Wasserhaushaltes (TP II-6a)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. U. Schmidhalter

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

Dipl. Ing. Gartenbau E. Neudecker

Im Teilprojekt II-6a werden mittels Geophysik, Fernerkundung und Modellierung teilflächenspezifische Bodeneigenschaften und Standortpotentiale bestimmt. Mit elektromagnetischer Induktion werden Böden berührungsfrei kartiert mit dem Ziel der Ableitung von Managementeinheiten, Bodentexturunterschieden und dem Wassergehalt. Zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Standorteigenschaften und Ertragspotentialen werden flugzeuggestützte Multi- und Hyperspektralsensoren (Daedalus, Hymap, Dais) eingesetzt. Mittels bio- und geophysikalischer Methoden werden aus den Spektraldaten Standortpotentiale abgeleitet. Messungen und Modellierungen des pflanzlichen Wasserhaushaltes und des Bodenwasserhaushaltes dienen der Beschreibung des Ertragspotentials und der Ertragserwartung in Abhängigkeit variierender Jahreswitterungen.

11.1 Zusammenfassung

Im Arbeitsbereich „ Teil I: Geophysik“ wurden mit Hilfe elektromagnetischer Induktion 2.800 ha Ackerland auf acht Betrieben in geographisch und klimatisch sehr unterschiedlichen Regionen kartiert. Die ermittelten Werte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) wurden mit verschiedenen anderen Informationsquellen verglichen (Reichsbodenschätzung, Ertragskarten, spektrale Informationen aus Fernerkundungsaufnahmen). Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten (bitemporal) zeigten vergleichbare Muster der elektrischen Leitfähigkeit über die Zeit hinweg. Bei geringeren Wassergehalten tendierte auch die ECa zu niedrigeren Werten. Bereiche verschiedener Bodensubstrate konnten durch elektromagnetische Induktion besser abgegrenzt werden als durch die vorhandenen Informationen der Reichsbodenschätzung. Letztere Information (Punktinformationen der Grablöcher) stand zur ECa in einer Beziehung von $r^2 = 0,01-0,71$. Die engsten Beziehungen ergaben sich auf heterogenen Flächen. Auf heterogenen Feldern konnten enge Beziehungen zum Ertrag mit einem r^2 bis 0,71 gefunden werden. Auf einer solchen Fläche korrelierten der NDVI, der durch multispektrale Fernerkundungsaufnahmen ermittelt worden war, und die ECa mit $r^2 = 0,47$. ECa-Messungen stellen eine schnelle Methode zur Ermittlung von Bodenunterschieden dar.

Die Arbeiten und Ergebnisse aus dem Arbeitsbereich „Teil II: Multispektrale Fernerkundung“ lassen sich wie folgt zusammenfassen: Das Preprocessing von Multispektral-Daten zu geometrisch und radiometrisch korrigierten Multispektral-Karten ist automatisiert und operationell. Das Verfahren wurde validiert und die Arbeiten hierzu sind abgeschlossen. Die Arbeiten zur stand-

örtlich differenzierten Erfassung von Oberbodeneigenschaften mit hyperspektraler Fernerkundung für die Anwendung als Basiskarten zur differenzierten Bodenbearbeitung, Aussaat und Düngung liefern erste Ergebnisse zur Quantifizierung von Humusausstattung und Tongehalt bei Berücksichtigung der Eisenoxide als stark farbgebendes Bodenmineral. Die Aufwuchsbonituren zur Zustandsbeschreibung der Pflanzenbestände, zur Quantifizierung von Stresssymptomen und zur Ertragsabschätzung wurden erfolgreich weiterentwickelt und erste Validierungen durchgeführt. Zur Diagnose und Quantifizierung von Aufwuchszuständen mit multispektralen Daten wurden Vegetationsindizes analysiert und bezüglich ihrer Eignung zur Standortdifferenzierung beurteilt.

Die Arbeiten zur Ableitung des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers mittels multispektraler Fernerkundung zeigen das hohe Potential dieses methodischen Ansatzes. Die Entwicklung des Boden-Pflanze-Sensor-Modells wurden mit den Daten aus dem Jahr 2000 auf eine breite Basis gestellt. Die Untersuchungen zur Ertragsprognose zeigen die Möglichkeiten zu einer frühen und hochgenauen Vorhersage der relativen Ertragsdifferenzierung mit Multispektraldaten auf. Die Ableitung des bodenbürtigen Ertragspotentials wurde mittels Daten der Ertragsleistung validiert. Die Arbeiten zur Bilanzierung des standörtlichen Düngungsbedarfs und zur Ableitung der an die standörtliche Ressourcenausstattung angepassten Bewirtschaftungsintensität zeigen die zentrale Rolle des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers für die Effizienz der Düngung im Untersuchungsgebiet und die Möglichkeit zu einer ökologisch verträglichen Nutzungsweise auf.

Im Arbeitsbereich „Teil III: Dynamische Bodenwassermodellierung“ wird vornehmlich der Wetter- bzw. Witterungseinfluss auf den Bodenwasserhaushalt und damit die Ertragsbildung an Standorten mit geringem Niederschlag (ca. 470 mm Jahresdurchschnitt) sowie negativer Wasserbilanz untersucht. Die Datenerhebung findet auf Schlägen des Betriebes Wimex in Wulfen statt. Die eingesetzten Verfahren sollen die kurzfristigen (in den jeweiligen Vegetationsperioden) und langfristigen (über etwa vierzig Jahre hinweg) dynamischen Wetter- und Witterungseinflüsse erfassen und bewerten. Mittels der kapazitativen Messtechnik wird der volumetrische Bodenwassergehalt in mehreren Tiefen zeitlich hochaufgelöst an repräsentativen Standorten der Schläge erfasst. Mit punktuellen Messungen des Pflanzenwasserstatus (mit der Scholanderbombe) und der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM-38) wird untersucht, ob diese Methoden im Projektrahmen sinnvoll zur Ableitung von Pflanzen- bzw. Bodenwasserstatus eingesetzt werden können.

Die Abschätzung der langjährigen Wettereinflüsse auf die Ertragsbildung wird mit dem Modellierungspaket DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) durchgeführt. In Zusammenarbeit mit den eigenen Teilprojektpartnern „Geophysik“ und „Multispektrale Fernerkundung“ sowie den Teilprojekten Relief, Ertragspotentiale und Luftbilder sollen Methoden (weiter-) entwickelt werden, die eine Übertragung der zeitlich hochaufgelösten punktuellen Boden- und Pflanzenwasserstatusdaten auf die Fläche und damit die Ableitung von Managementmethoden und -strategien ermöglichen.

11.2 Zusammenarbeit

Die geophysikalischen Leitfähigkeitskarten dienten als Grundlage für die Entwicklung der digitalen Hof-Bodenkarten (TP II-1a) sowie als Interpretationsgrundlage für das Teilprojekt Relief (TP II-1b) und das Teilprojekt Regionale Stoffdynamik (TP IV-4a). Die in den Jahren 1999 und 2000 durchgeführten Entscheidungen zur Bestandesführung (TP III-2), Bodenbearbeitung (TP III-3) und Düngung (TP III-4) haben als wesentliche Entscheidungsgrundlage die Leitfähigkeitskarten des Teilprojektes II-6a eingesetzt.

Die Validierung der Leitfähigkeitsinformationen benötigt detaillierte Texturinformationen des Teilprojektes II-1a, die Informationen der Polygonabgrenzung sowie der Grablochinformationen des Teilprojektes IV-4a sowie detaillierte Angaben des NDVI des Teilprojektes Bestandesinformationen (TP II-4) und der Aufbereitung der Ertragskartierung (TP II-5).

Zur Validierung von Methoden und Verfahrensentwicklung mittels Fernerkundung wird mit den Leitern der Betriebe Wulfen, Baasdorf, Aken und Queis sowie den Mitarbeitern der Teilprojekte Aufbereitung Ertragskartierungen (TP II-5), Bestandesinformationen“ (TP II-4) und Software Lohnunternehmer (TP III-1b) zusammengearbeitet. Zur Einbindung von Fernerkundungsdaten in die Ableitung von fruchtartspezifischen Ertragspotentialen besteht eine Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern des Teilprojektes Ertragspotentiale (TP II-6b).

Zur Bilanzierung und Validierung der Modulanwendungen wird mit den Leitern der Betriebe Wulfen, Baasdorf und Aken sowie den Bearbeitern der Module Stickstoff-Düngung und Aussaat zusammengearbeitet. Im Teilbereich Modellierung wurden Arbeiten in Kooperation mit den Teilprojekten Relief (TP II-1b) und Ertragspotentiale (TP II-6b) durchgeführt. Zusammen mit dem Teilprojekt Relief wurden Untersuchungen zur möglichen Eignung des Topographischen Wetness Index (TWI) als Parameter für die Ermittlung der räumlichen Verteilung des Bodewassers durchgeführt.

Potentielle Vernässungszonen in Senken, optimal versorgte Bereiche in rinnenartigen Reliefformen und potentielle Trockenbereiche an Hangschultern (bedingt durch Erosion und starken Bodewasserabfluss bei kleinem Zuflussgebiet) lassen sich über Wetness-Index-Extrema erkennen (siehe Ergebnisse) und sind daher eine wertvolle Information für pflanzenbaulich orientierte Teilprojekte. An einer Optimierung und Validierung des TWI und weiteren Reliefparametern im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit unter verschiedenen Reliefbedingungen besteht im Moment großer Forschungsbedarf. Ziel ist die Ausarbeitung von Entscheidungskriterien für die Gegebenheiten, bei denen Reliefinformationen eine gute Bodenfeuchterepräsentation ergeben und somit die Erfassung eines Geländemodells sinnvoll ist (siehe TP II-1b).

In Kooperation mit dem Teilprojekt Ertragspotentiale werden zur Zeit Simulationsrechnungen mit dem Modellierungspaket DSSAT 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, IBSNAT, 1999) durchgeführt. Mit Hilfe dieser Modellierung sollen durch Erstellung langjähriger Ertrags- und Wasserhaushaltsszenarien die Einflüsse der sich von Jahr zu Jahr ändernden Wettereinflüsse dargestellt und hinsichtlich ihres Einflusses auf teilflächenspezifische Managementstrategien bewertet werden.

11.3 Teil I Geophysik - Teilflächenspezifische Bodenkartierung mit Hilfe elektromagnetischer Induktion

11.3.1 Einleitung

Teilflächenspezifisches Management erfordert detaillierte Informationen über die Heterogenität von Feldern, um die Bodenbearbeitung, die Aussaat, die Düngung, Fungizid- und Herbizidapplikationen den lokal variierenden Bodenbedingungen anpassen zu können. Diese Daten genügen jedoch selten den Anforderungen; entweder im Hinblick auf die Intensität notwendiger Bodenbeprobung oder in Bezug auf die Qualität entstandener Karten, um Bearbeitungseinheiten abgrenzen zu können.

Konventionelle Methoden sind jedoch zu teuer und zu zeitaufwendig. Es sollten schnelle, berührungsfreie Methoden zur Ermittlung der benötigten Informationen verfügbar sein. Elektromagnetische Induktion und Fernerkundungsaufnahmen könnten es erlauben, dieses Ziel zu erreichen. Beide Methoden wurden in diesem Projekt angewendet. Die untersuchten Böden decken einen weiten Bereich verschiedener Bodentypen ab.

Dieser Teilbericht präsentiert die Ergebnisse der Bodenkartierung mit Hilfe elektromagnetischer Induktion, beschreibt eine robuste und effiziente Methode zur Untersuchung der elektromagnetischen Induktion und zeigt erste Ergebnisse zur Interpretation der erhaltenen Informationen durch den Vergleich mit anderen Informationsquellen. Diese beinhalten Ergebnisse der Bodenuntersuchungen aus der Reichsbodenschätzung, Ertragsdaten sowie Fernerkundungsaufnahmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen dazu beitragen, die elektromagnetische Induktion als Mittel zur schnellen Bodenkartierung weiterzuentwickeln, ihr Potential zu ermitteln und Vergleiche mit alternativen Techniken zu erlauben.

11.3.2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf 2.800 ha in acht verschiedenen Betrieben nach dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion durchgeführt. Die elektromagnetische Induktion stellt eine schnelle berührungsfreie Methode dar, um Informationen über die Heterogenität von Böden zu erhalten. Die elektrische Leitfähigkeit spiegelt den Einfluss verschiedener Faktoren wider, hängt aber hauptsächlich vom Tongehalt, dem Wassergehalt und der elektrischen Leitfähigkeit der Bodenlösung ab.

Die Kartierung wurde mit einem EM38 (Geonics Ltd., Missisauga, Ontario, Canada) im vertikalen Modus 1999 und 2000 hauptsächlich im Frühling oder Herbst durchgeführt. Es wurden Karten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) von 73 Feldern erstellt. Um den Einfluss unterschiedlicher Kartierzeiten besser zu verstehen, wurden auf einem Feld zwei Messungen zur Untersuchung saisonaler Einflüsse durchgeführt.

Das Hauptziel dieser Studie war ein Vergleich zwischen ECa-Karten und anderen Informationsquellen zur Darstellung räumlicher Heterogenität. Dies beinhaltet multispektrale Fernerkundungsdaten und Informationen anderer Projektpartner. Als potentiell wertvolle Informationen

wurden Daten der Reichsbodenschätzung (TP IV-4a) mituntersucht. Eine weitere Datenquelle waren Ertragskarten (TP II-5 und TP II-4).

Korrelationskoeffizienten wurden zwischen der ECa und anderen räumlichen Informationen berechnet. Der Großteil der dargestellten Ergebnisse stammt aus dem Raum Wulfen. Die verschiedenen Böden besitzen sehr unterschiedliche Bodentexturen, die von Sand bis zu tonigem Lehm reichen. Teile mancher Felder stehen unter dem Einfluss von Grundwasser oder lateralem Zufluss von Wasser. Einige andere Felder liegen in Kassow im Nordosten Deutschlands.

11.3.3 Ergebnisse und Diskussion

11.3.3.1 Online-Messung der elektrischen Leitfähigkeit

Eine robuste und schnelle Methode wurde entwickelt, die eine tägliche Messleistung von bis zu 150 ha ermöglicht. 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. On-line-Informationen der ECa wurden mit einer Auflösung von 5 m x 20 m ermittelt. Die Felder wurden mit über 100 Messpunkten pro Hektar charakterisiert.

11.3.3.2 Karten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit

Karten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit wurden für 2.800 ha Ackerland von 73 Feldern 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 11-1. Die elektrische Leitfähigkeit variiert von sehr niedrigen Werten ($5\text{-}10 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$) bis zu Werten von $100 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Generell sind niedrige Werte typisch für Sandböden ($5\text{-}15 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$), während höhere Werte ($30\text{-}60 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$) tonigere 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-tonigen oder organischen Böden und zusätzlich den Einfluss relativ hoher Salzgehalte der Bodenlösung widerzuspiegeln. Mittlere Werte können auch auf Böden mit hohem Kiesanteil hinweisen. Diese vorläufigen interpretativen Einschätzungen sind im Augenblick Gegenstand detaillierter Bodenanalysen. Karten der elektrischen Leitfähigkeit erlauben die Abgrenzung von Zonen verschiedener Bodensubstrate mit hoher Genauigkeit.



Abb. 11-1: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) von vier Feldern (360 ha)

11.3.3.3 Multitemporale (Bitemporale) Messungen der elektrischen Leitfähigkeit

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.

Die Befahrbarkeit von Feldern wird durch sehr hohe Wassergehalte eingeschränkt. Hohe Biomassegehalte führen zu Einschränkungen der Zeiten, zu denen Messungen durchgeführt werden können. Messungen sind am günstigsten auf unbedecktem Boden durchzuführen, sind aber bis zu einer Höhe von 40 cm noch in Getreide möglich.

Die Messungen wurden bei verschiedenen Wassergehalten durchgeführt, deshalb ergab sich die Frage, bis zu welchem Grad dies die absoluten Werte der elektrischen Leitfähigkeit beeinflussen könnte 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 der verschiedenen Zeiten korrelierten eng miteinander ($r^2 = 0,88$, Abb. 11-2). Die Werte von September waren etwas niedriger ($0-15 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$) als im April. Niedrige Bodenwassergehalte reduzieren die ECa-Werte. Sowohl die Ergebnisse von dieser Fläche als auch von anderen multitemporalen Messungen zeigen, dass die Muster der elektrischen Leitfähigkeit nicht stark variieren. Messungen können während des ganzen Jahres durchgeführt werden, bevorzugt aber bei Feldkapazität des Bodens.

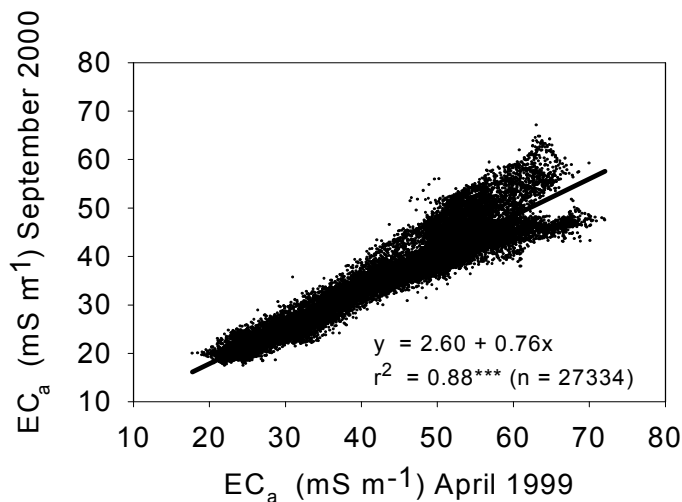


Abb. 11-2: Beziehung zwischen ECa-Messungen zu zwei verschiedenen Zeitpunkten

11.3.3.4 Vergleich der ECa mit Ergebnissen der Reichsbodenschätzung

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. 11-1). Für 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 Spannbreite der ECa in Kassow war wesentlich kleiner als in Wulfen.

Die verfügbaren Informationen aus dieser alten Datenquelle sind sehr interessant, weisen allerdings Mängel auf. Die Zahl der Grablöcher mit detaillierten Bodenbeschreibungen variierten zwischen 8 - 43 pro Feld. Die Qualität der Information ist teilweise durch die recht grobe Charakterisierung der Bodentextur beschränkt, zudem scheint die Qualität dieser historischen Bodeninformationen selbst sehr stark zu schwanken. ECa-Messungen führen zu einer besseren Abgrenzung von Bereichen unterschiedlicher Bodensubstrate als die Reichsbodenschätzung (Abb. 11-3).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass Bereiche unterschiedlicher Bodeneinheiten wesentlich besser durch elektromagnetische Induktion abgegrenzt werden können als durch bereits existierende Informationen der Reichsbodenschätzung. Letztere können jedoch eine wertvolle Informationsquelle für die Kalibration darstellen, wenn diese in digitaler Form verfügbar sind und eine entsprechende Punktedichte vorliegt.

Tab. 11-1: Korrelationskoeffizienten der linearen Regression (r^2) zwischen ECa und Bodenzahlen der Reichsbodenschätzung von vier Betrieben und unterschiedlichen Feldern. Signifikanzniveaus und die Anzahl der jeweiligen Datenpaare sind angegeben.

Betrieb	Felder			
Wulfen	Finkenherd 0,49 ^{n.s.} (n=8)	Mühlbreite 0,09 ^{n.s.} (n=10)	Wu641/632 0,71*** (n=9)	Dornbock Pilsenhöhe 0,31*** 0,53* (n=43) (n=11)
	Thumbby 0,33** (n=20)	Ottenkamp 0,18 ^{n.s.} (n=9)	Alt-Grünholz 0,17* (n=25)	
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)			

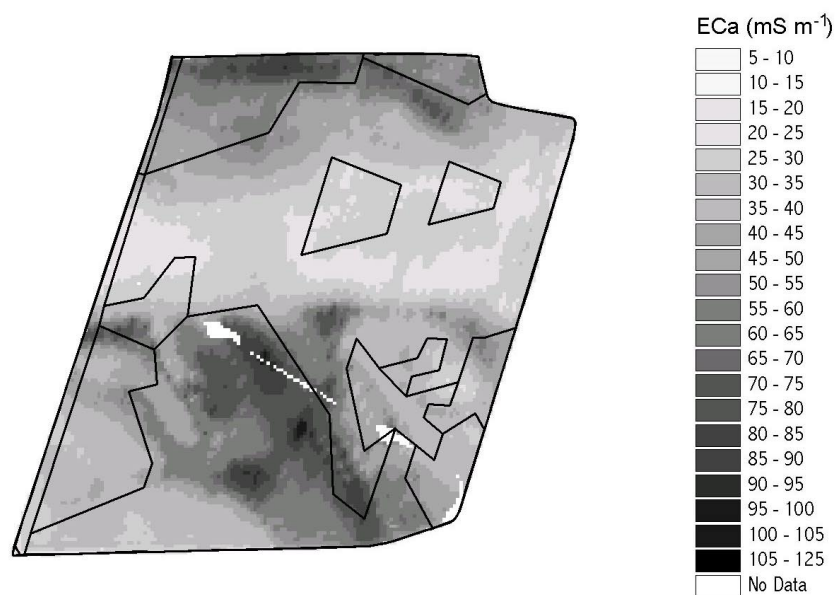


Abb. 11-3: Bereiche unterschiedlicher Bodeneinheiten, wie sie durch die Reichsbodenschätzung abgegrenzt wurden, sind auf einer Karte der elektrischen Leitfähigkeit dargestellt

11.3.3.5 Vergleich der elektrischen Leitfähigkeit mit Ertragskarten

Vergleiche der elektrischen Leitfähigkeit mit Ertragsdaten wurden bisher auf fünf verschiedenen Feldern bei Wulfen durchgeführt. Es wurden recht gute Korrelationen gefunden, wie in Abbildung 11-4 am Schlag 231 mit $r^2 = 0,71$ dargestellt wird. Auf homogenen Standorten ist naturgemäß keine enge Beziehung aufgrund des kleinen Variationsbereiches zu erwarten.

Die Untersuchungen werden fortgeführt und auf andere Flächen ausgedehnt. In der untersuchten Region ist Wasser der limitierende Wachstumsfaktor. Dies führt dazu, dass Bodenunterschiede durch Ertragskarten widerspiegelt werden. Unter solchen Bedingungen können ECa-Messungen ein sehr wertvolles Mittel darstellen, um ertragsbegrenzende Faktoren des Bodens zu erkennen.

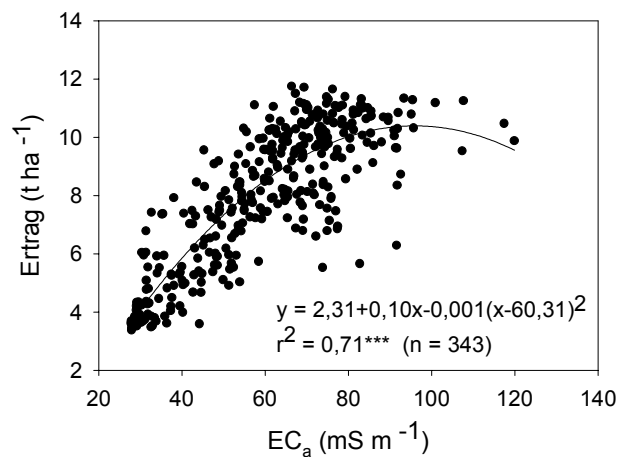


Abb. 11-4: Beziehung zwischen Ertrag und elektrischer Leitfähigkeit der Schläges 231 in Wulfen

11.3.3.6 Elektrische Leitfähigkeit versus Fernerkundungsinformationen

Der NDVI (normalised differential vegetation index) aus fernerkundlichen Multispektralaufnahmen und die ECa (Abb. 11-5) korrelierten miteinander (Schlag 141, $r^2 = 0,47^{***}$). Der NDVI wurde während einer Flugkampagne in Jahr 2000 mit einem Daedalus-Scanner aufgenommen. Die untersuchte Fläche zeichnet sich durch ein recht stabiles Ertragsmuster über die Jahre hinweg aus.

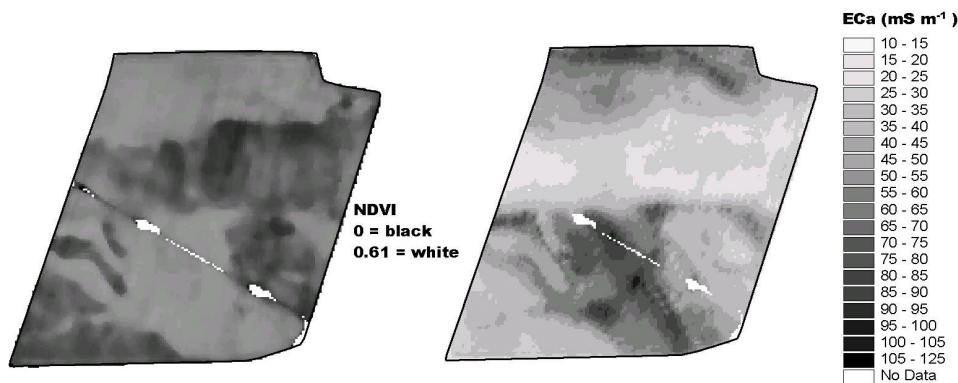


Abb. 11-5: Karten des NDVI und der ECa eines heterogenen Feldes in Wulfen

11.3.4 Schlussfolgerungen

Die Informationen, die durch elektromagnetische Induktion erhalten werden, bieten einen interessanten Ansatz zur Kartierung von Bodenheterogenitäten. 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 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 ECa-Informationen können Bodenfaktoren erkannt werden. Der Ertrag kann eng mit Bodenfaktoren und deshalb mit ECa-Messungen zusammenhängen. Auf der anderen Seite kann das Wetter diesen Zusammenhang verhüllen, was einen ausgefeilteren Ansatz erfordert, der statistische Bodeneigenschaften mit Witterungswahrscheinlichkeiten kombiniert. Entsprechende methodische Untersuchungen erfolgen eng mit dem Teilprojekt II-6b, u. a. mit Hilfe von Wachstumsmodellen.

11.3.5 Ausblick

Die bis jetzt gewonnenen Informationen sind in die Planung teilflächenspezifischer Aussaat und Düngung eingeflossen und dienen zudem der gezielten Beprobung von Nährstoffen in Böden der Pflichtschläge im Verbundprojekt *pre agro*.

Im Jahre 2001 konzentrieren sich die geophysikalischen Untersuchungen wesentlich auf die Validierung der bisher vorhandenen Informationen. Dazu werden detaillierte laboranalytische Werte der Bodenuntersuchungen des Teilprojektes (TP II-1a) benötigt, insbesondere Textur- und Humusinformationen. Im Bedarfsfall werden auf ausgewählten Standorten ergänzende Texturuntersuchungen und Bestimmungen des volumetrischen Wassergehalts durchzuführen sein. Diese werden in Absprache mit der Projektleitung festgelegt. Fortgesetzt und intensiviert werden die Verknüpfungen von Informationen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit mit den Informationen der Reichsbodenschätzung, der Fernerkundungsinformationen und der Ertragserhebungen. Das Projekt versucht einen verallgemeinerungsfähigen Algorithmus zur Interpretation der geophysikalischen Information auszuarbeiten. Eine wesentliche Zielstellung in den Jahren 2001 und 2002 wird auch eine vergleichende Bewertung der bisher vorhandenen Informationen zur Charakterisierung von Heterogenität und deren spezifischer Aussagefähigkeit sein (Geophysik versus Hofbodenkarten, Reichsbodenschätzung, Fernerkundungsinformation, Ertragskarten). Intensiviert werden auch die Bemühungen, eine Methodik zu entwickeln, die es vor Ort ermöglicht, den Wassergehalt, die Trockenraumdichte und die elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung zu messen. Ergänzt werden diese Anstrengungen durch die Entwicklung einer vereinfachten analytischen Ansprache der Textureigenschaften des Bodens mit dem weiterführenden Ziel, dies mit einer Schnellmethode bzw. vor Ort durchführen zu können.

11.4 Teil II - Multispektrale Fernerkundung

11.4.1 Einleitung und Problemstellung

Standortspezifische Entscheidungssysteme erfordern detaillierte Informationen über die natürlichen Ressourcen und deren räumliche Verteilung innerhalb von Feldern. Die Variabilität und das räumliche Muster des Pflanzenwachstums innerhalb von Feldern hängen von der Variabilität und dem räumlichen Muster der Bodeneigenschaften ab. Detaillierte Informationen über das räumliche Muster und die funktionalen Eigenschaften der Böden sind deshalb erforderlich, um standortspezifisches Management zu ermöglichen.

In dieser Untersuchung wurden flugzeuggestützte, multispektrale Fernerkundungsdaten eingesetzt, um die digitale Kartierung von Bodeneigenschaften mit hoher räumlicher Auflösung und zeitlicher Flexibilität zu ermöglichen. Fernerkundungstechnologien sind nicht in der Lage, in das Bodenprofil hineinzusehen, sondern erfassen die spektralen Charakteristika der Boden-Pflanzen-Oberfläche. Die Konzeption dieser Studie macht sich die Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Boden, Pflanze und spektraler Rückstreuung zu Nutze. Dabei werden Eigenschaften der Pflanzenbestände als Indikator funktionaler Eigenschaften des Bodenprofils interpretiert. Basierend auf den Beziehungen im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze-Sensor wird ein bioindikatives

Modell entwickelt. Die Spektralinformation wird dabei in Bodeninformation transformiert. Das Kartierungsverfahren leitet somit Bodeneigenschaften aus den durch Aufwuchszustände verursachten Spektralsignaturen ab. Die in dieser Studie entwickelten Bodenkarten sind geeignet, Betriebsleiter und landwirtschaftliche Beratung bei der Anwendung von standortspezifischem Management zu unterstützen.

Gleichzeitig werden stressinduzierte Unterschiede aktueller Bestandeszustände untersucht und Ansätze zu einer fernerkundungsgestützten Prognose von Ertragsunterschieden erarbeitet. Hier besteht noch signifikanter Bedarf an übertragbaren und leicht anwendbaren, d. h. gut operationalisierbaren Methoden und Verfahren. Ein Arbeitsschwerpunkt der Teilaufgabe „Multispektrale Fernerkundung“ ist deshalb die Entwicklung operationeller Verfahren und die Adaptierung von Methoden für die praktischen Zwecke von precision agriculture. Im Teilprojekt werden mit der Anwendung der multispektralen Fernerkundung folgende Ziele verfolgt:

- Validierung und Operationalisierung von Verfahrensschritten zum *Preprocessing* der Fernerkundungsdaten (Sensorkalibrierung, Reflexionskalibrierung, Geokodierung und Atmosphärenkorrektur etc.).

Relevanz: Qualitative Verbesserung und Beschleunigung der Prozesskette von der Befliegungsplanung bis zur Managemententscheidung.

- Entwicklung von *Indikatormodellen* des Systems Boden-Pflanze-Sensor zur algorithmischen Ableitung von Bodeneigenschaften und Standortcharakteristika mittels bioindikativer Verfahren und Transferfunktionen.

Relevanz: Quantitative Berücksichtigung von Bodeneigenschaften und Standortcharakteristika zur Risiko- und Aufwandsoptimierung für die Planung standortangepasster Managementstrategien bei der Bodenbearbeitung, der Aussaat, der Düngung, der Bewässerung und des Pflanzenschutzes.

- Bereitstellung von *Standortkarten* zu Bodenfunktionen und Standortcharakteristika (pflanzenverfügbares Bodenwasser, nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum, bodenbürtiges Ertragspotential, pot. Grundwasseranschluss, Staunässe, Humusgehalt des Oberbodens etc.).

Relevanz: Segmentierung von funktionalen Standorten als Managementzonen, u. a. für eine Bewirtschaftung mit lokal angepasstem Intensitätsniveau.

- Beurteilung der Relevanz fernerkundlich erfasster Zustände der Bodenoberfläche und der Pflanzenbestände für die *Prognose* der Ertragsbildung durch Vergleich mit Ertragskarten und Einbeziehung von Bewirtschaftungsinformationen.

Relevanz: Optimierung des zeitlichen und materiellen Aufwandes für die Ableitung von Managemententscheidungen im precision agriculture.

- Untersuchungen zur Ableitung eines Anforderungskataloges an einen Minimaldatensatz zur aufwandsoptimierten Erfassung von Referenzdaten für die thematische Eichung von Fernerkundungsdaten.

Relevanz: Optimierung des zeitlichen und materiellen Aufwandes für die Bereitstellung fernerkundungsbasierter Karten.

11.4.2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in Jahr 2000, wie schon 1999, auf den Betrieben Queis, Baasdorf, Wulfen und Aken durchgeführt.

Befliegungen: Am 9. Juni und am 1. August 2000 erfolgte jeweils eine Befliegung mit dem Multispektralsensor Daedalus AADS 1268 ATM durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Der Daedalus-Sensor zeichnet aus dem Wellenlängenspektrum von 480-14.000 nm diskontinuierlich 12 Spektralbereiche auf. Zu beiden Terminen wurde mit 5 Flugstreifen ein zusammenhängender Landschaftsausschnitt mit den Betrieben Wulfen, Baasdorf und Aken bei 5 m Rasterzellenweite mit einer Cessna Caravan der DLR als Flugzeugplattform aufgenommen. Am 1. August wurde mit 2 Flugstreifen zusätzlich der Bereich des Betriebes Queis aufgenommen. Das Flugzeug war ausgestattet mit einem digitalen Flugführungssystem, DGPS und Lasergyroskopen als Fluglagesensoren.

Die spektralen Bilddaten wurden mit den DGPS-Daten des Flugleitsystems und mit den Fluglagedaten der Laser-Gyroskope über Zeitkoordinaten datentechnisch zusammengeführt. Die Bilddaten wurden dann soweit nötig atmosphärisch korrigiert. Anschließend erfolgte die Prozessierung der Bilddaten zu Spektralkarten im geographischen Koordinatensystem nach Gauss-Krüger unter Verwendung eines neuen Geokodierungs-Verfahrens und mit Berücksichtigung des DGM. Abschließend werden die aus parallelen Bildstreifen stammenden Teil-Karten mittels radiometrischer Randausgleichsverfahren und Matching-Routinen zusammengeführt.

Referenzdaten: Zwischen April und Oktober 2000 wurden mit befliegungsbegleitenden Messkampagnen Referenzdaten an repräsentativen Standorten der beflogenen Betriebe erhoben. Die pflanzenbaulichen/-physiologischen und bodenkundlichen Daten dienen den standortspezifischen Untersuchungen zum Ursache-Wirkungsmechanismus im System Boden-Pflanze, der Ableitung von Transferfunktionen und der Entwicklung von Indikator-Signatur-Modellen. Sie sind unabdingbar für die Prozessierung von metrischen Zustands- und Standortkarten. Daten zur Charakterisierung der Pflanzenbestände und der Böden wurden auf 12 Schlägen mit den Nutzungen Winterweizen, -gerste, Zuckerrüben und Körnermais der Betriebe Wulfen, Aken und Baasdorf erhoben.

11.4.3 Ergebnisse und Diskussion

11.4.3.1 Preprocessing

Das im Jahr 1999 erstmals eingesetzte Verfahren zur vollautomatischen Geokodierung von Flugzeugscannerdaten auf der Basis von Fluglagedaten, Positionsdaten des Flugleitsystems und des digitalen Geländemodells wurde erneut validiert und ein weiterer Beitrag zu seiner Optimierung geleistet. Mit diesem am DLR-Institut für Methoden der Fernerkundung konzipierten Verfahren, konnte das Preprocessing von Flugzeugscannerdaten erneut beschleunigt und weitere geometrische Verbesserungen erreicht werden. Das Preprocessing wird nun voll operationell durch das DLR durchgeführt. Verbliebene Störeffekte sind nur noch von nachrangiger Bedeutung. Diese Effekte sind zum einen auf atmosphärische Phänomene und zum anderen auf die für die Zusam-

menführung von parallelen Flugstreifen zur Verfügung stehenden radiometrischen Randausgleichsfunktionen der Matching-Routinen zurückzuführen. Weitere Effekte sind in der bidirektionalen Reflexionsverteilungsfunktion (BRDF) der verschiedenen Vegetationsoberflächen begründet. In diesem Bereich sind noch Grundlagenarbeiten zu leisten, wie sie gegenwärtig im DFG-Vorhaben „Integrierte Kleinräumige Bestandesführung Dürnast (IKB) durchgeführt werden.

11.4.3.2 Fernerkundliche Erfassung von Oberbodeneigenschaften

Auch Oberböden zeigen innerhalb von Feldern oft eine hohe Variabilität. Oberbodeneigenschaften wirken sich beispielsweise aus auf den Feldaufgang, die Stickstoffmineralisierung, Wasserinfiltration und Erosion. Kenntnisse über die Eigenschaften der Oberböden und deren räumliches Verteilungsmuster sind wichtig für die Anwendung differenzierter Maßnahmen, beispielsweise die Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Aussaat und Düngung. Wichtige Eigenschaften wie Aggregation, Aggregatstabilität, Erosivität, Wärme- und Wasserhaushalt werden durch die Bodenart, den Humusgehalt und seine Qualität beeinflusst.

Hyperspektrale Fernerkundungssensoren können die Unterschiede der Oberböden und ihre räumliche Verteilung innerhalb von Feldern erfassen und Basiskarten zur standortdifferenzierten Bodenbearbeitung, Aussaat und Düngung liefern. Erste spektralanalytische Untersuchungen ergaben eine hohe Abbildbarkeit von Humusunterschieden und Mineralausstattung von Oberböden in den Daten des Hyperspektralsensors HyMap.

Zur Validierung und Quantifizierung wurden erste Bodenanalysen mit feldspektroskopischen Messungen verknüpft. Die Arbeiten dienen als Voruntersuchungen zur Auswertung hyperspektraler Bilder des Flugzeugscanners.

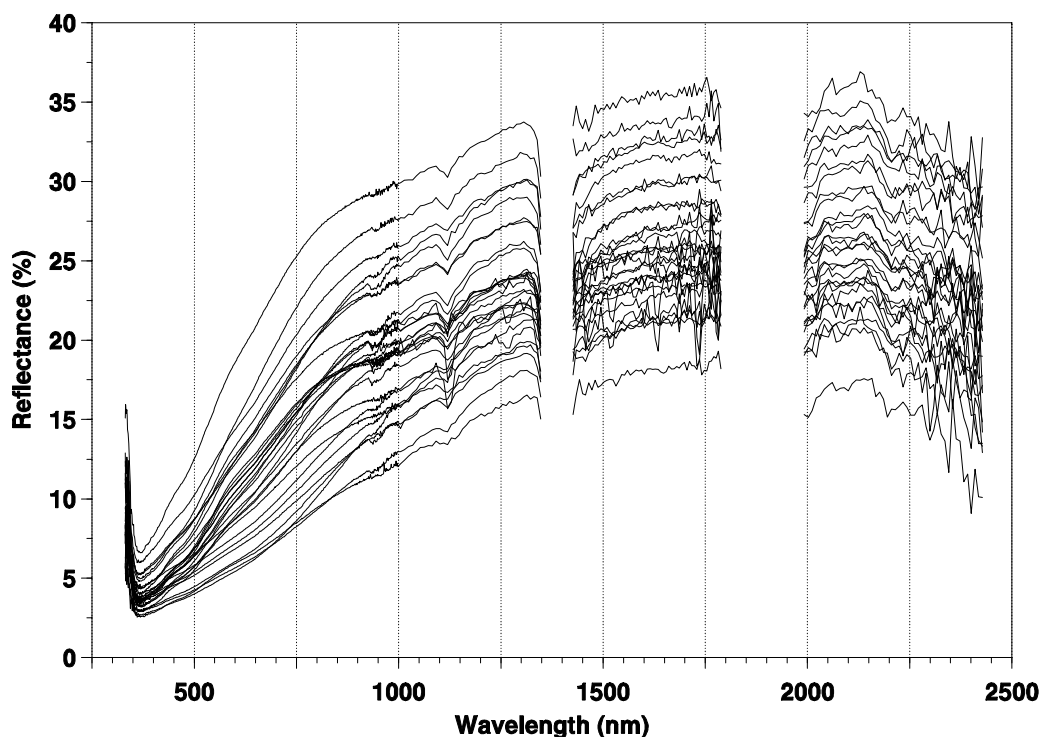


Abb. 11-6: Hyperspektrale Signaturen der untersuchten Oberböden

Erste Ergebnisse dieser Voruntersuchungen an Oberböden von Feldern des Betriebes Wulfen zeigen große Unterschiede im spektralen Erscheinungsbild der Oberböden. In Abbildung 11-6 sind die spektralen Signaturen der Standorte dargestellt.

Als wesentlicher Faktor für die Unterschiede im Bereich kurzwelliger Strahlung wurde der Humus identifiziert. Abbildung 11-7 zeigt exemplarisch die Auswirkung des C_{org} -Gehaltes auf die Reflexion im Wellenlängenbereich um ca. 344 nm. Die hohen Streuungen deuten daraufhin, dass nicht nur die Humusmenge, sondern auch die Art des Humus, die auf bestimmte Entstehungsbedingungen zurückzuführen ist, berücksichtigt werden muss.

Im Bereich des mittleren Infrarot konnten Wellenlängenbereiche identifiziert werden, die mit Parametern der Bodenart, vor allem dem Tongehalt, korrelieren (Abb. 11-8). Das Bestimmtheitsmaß beträgt $r^2 = 0,78^{***}$: Gleichzeitig korreliert dieser Wellenlängenbereich mit der Ausstattung an Eisenoxiden (Abb. 11-9). Das Bestimmtheitsmaß beträgt $r^2 = 0,72^{***}$. Beide Bodenparameter sind miteinander hoch korreliert ($r = 0,94^{***}$). Die Berechnung multipler, nicht-linearer Regressionsfunktionen zur Ableitung des Tongehaltes aus den Spektraldaten bei Berücksichtigung der Ausstattung mit Eisenoxiden ergab enge Zusammenhänge ($r^2 > 0,8$). Diese waren jedoch wegen des zu geringen Probenumfangs von 29 Oberböden nicht signifikant.

Die Untersuchungen zur Ableitung von Bodenart, Humusausstattung und Eisenoxiden werden fortgesetzt. Anschließend werden über die Daten des Flugzeugscanners Karten der Oberbodendifferenzierung erstellt.

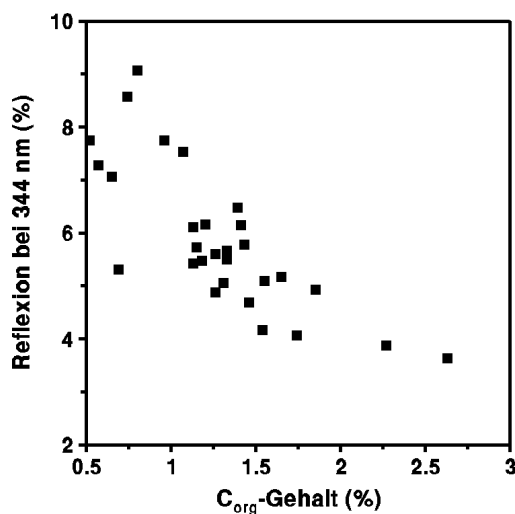


Abb. 11-7:

Zusammenhang zwischen dem Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in den Oberböden und der Reflexion bei ca. 344 nm

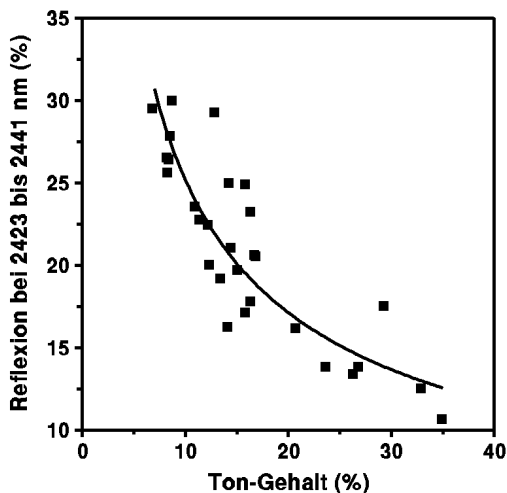


Abb. 11-8:

Zusammenhang zwischen dem Ton-Gehalt der Oberböden und der Reflexion bei ca. 2.423-2.441 nm

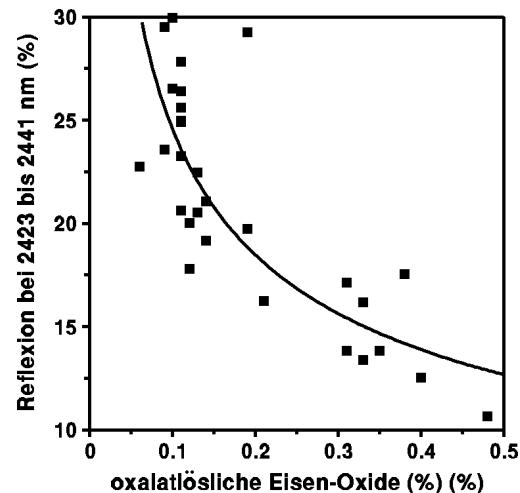


Abb. 11-9:

Zusammenhang zwischen dem Eisenoxid-Gehalt der Oberböden und der Reflexion bei ca. 2.423-2.441 nm

11.4.3.3 Aufwuchsbonituren zur Bestandesbeurteilung, Stressdiagnose und Ertragsabschätzung

Zur Eichung von Spektraldaten sind Referenzdaten unerlässlich. Diese Ground-Truth-Informationen können durch Messungen am und im Pflanzenbestand oder durch Schätzverfahren gewonnen werden. Messungen sind meist langwierig und erfordern einen hohen Aufwand, so dass nur relativ geringe Probenumfänge erreicht werden. Schätzverfahren haben den Vorteil der schnellen Durchführbarkeit und ermöglichen dadurch hohe Probenumfänge. Der Nachteil liegt in der Beeinflussung der Ergebnisse durch die Subjektivität der Schätzer. Letzteres kann durch Referenzmessungen zur Eichung der Schätzer ausgeglichen werden.

Für die Beurteilung quantitativer und qualitativer Unterschiede von Pflanzenbeständen wurden Aufwuchsbonituren entwickelt. Ziel ist es, Bonituren zu vier Anwendungszwecken zu entwickeln. (1) Bestandesbonituren zur Beurteilung der Bestandesführung, (2) Stressbonituren zur erweiterten Bestandes- und Bodenbeurteilung, (3) Ertragsbonituren zur relativen Ertragsdifferenzierung, (4) Ertragsbonituren zur Schätzung absoluter Ertragsleistungen. Die Methodik wird für Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrüben entwickelt. Sie ist konzeptionell für alle Getreidearten und Mais geeignet. Die verschiedenen Zwecke und Termine der Bonituren verlangen nach unterschiedlichen Boniturtabellen, die sukzessive erstellt werden sollen. Bei der Bonitur ist der Phänotyp zu beachten. Tendenziell werden planophile Phänotypen als „besser“ bonitiert im Gegensatz zu erektopholen Phänotypen. Nachfolgend werden einige erste exemplarische Validierungsergebnisse dargestellt.

In Abbildung 11-10 sind Aufwuchsbonitäten den Biomassenbestimmungen auf fünf Winterweizenfeldern mit 4 Sorten auf dem Betrieb Wulfen gegenübergestellt. In Abbildung 11-11 ist der Zusammenhang zwischen Blattwasserpotential und der Aufwuchsbonitur während einer Tro-

ckenphase im Mai 2000 dargestellt. Die Untersuchungen erfolgten auf einem Winterweizen-schlag des Betriebes Wulfen.

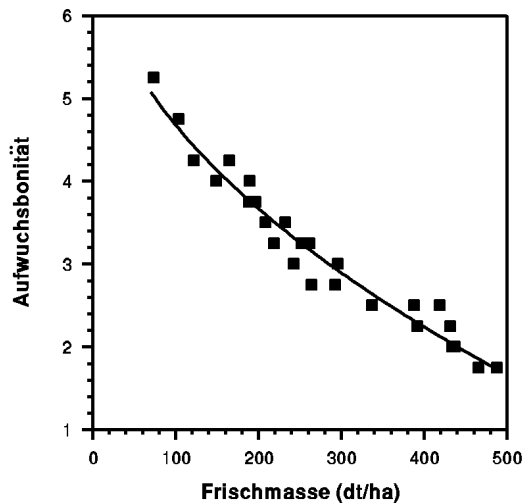


Abb. 11-10:
Zusammenhang zwischen Biomasse und Aufwuchsbonität bei Winterweizen

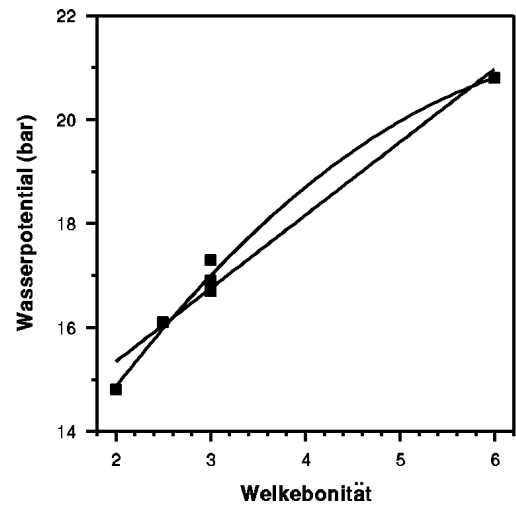


Abb. 11-11:
Zusammenhang zwischen Wasserpotential und Welkebonität bei Winterweizen

In Abbildung 11-12 ist die Beziehung zwischen Kornertrag und Bonität auf fünf Winterweizenfeldern mit vier Sorten des Betriebes Wulfen dargestellt.

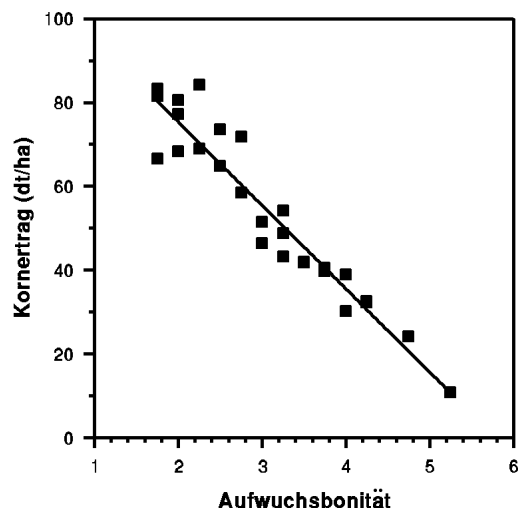


Abb. 11-12:
Zusammenhang zwischen dem Kornertrag und der Aufwuchsbonität bei Winterweizen

Abschließend kann festgehalten werden, dass sich die Bonituren als geeignetes Werkzeug zur standortspezifischen Beurteilung von Aufwuchszuständen und Ertragsunterschieden bestens eignen. In Verbindung mit wenigen Referenzmessungen können hohe Probenumfänge mit großer Genauigkeit von geübten Schätzern erzielt werden. Die Bonituren sind deshalb adäquate Methoden zur Eichung von multispektralen Fernerkundungsdaten für precision agriculture-Anwendungen.

11.4.3.4 Fernerkundliche Erfassung stressinduzierter Aufwuchszustände

Unterschiede im Aufwuchs sind neben Bewirtschaftungsfehlern durch Bodenunterschiede verursacht und dann Ausdruck von Stresseinwirkung auf den Pflanzenbestand. Stressinduzierte Erfassung von standortspezifischen Aufwuchsunterschieden dient der aktuellen Zustandserfassung (z. B. „crop vigor maps“ für Düngung oder Bewässerungsbedarf) und der räumlichen Differenzierung von Standorteigenschaften sowie deren Quantifizierung. Hochaufgelöste und multispektrale Fernerkundungsdaten können hierzu wertvolle Beiträge leisten. In der Fernerkundung sind spektrale Indizes verbreitete Größen zur Differenzierung von Pflanzenbeständen und deren Zuständen. Am geläufigsten ist der „normalised differential vegetation index (NDVI)“ ($NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)$). Der nicht-lineare Zusammenhang des NDVI zur Biomasse bei Winterweizen ist in Abbildung 11-13 dargestellt. Der Regressionskoeffizient beträgt $r^2 = 0,89^{***}$. Durch die Nicht-Linearität des Zusammenhanges ist es jedoch kaum möglich, signifikante Unterschiede in der Biomasse dann aus dem NDVI abzuleiten, wenn es sich um mittlere und hohe Biomassen handelt ($250-400 \text{ dt ha}^{-1}$). Hohe und sehr hohe Biomassen lassen sich an ihrem NDVI gar nicht unterscheiden.

Neben dem NDVI wurden auch der „soil adjusted vegetation index (SAVI)“ ($SAVI = 1,5 * (NIR-R)/(NIR+R+0,5)$) und der „vegetation fraction index (VFI)“ ($VFI = (NIR-R)/(NIR+R-B)$) nach Gitelson (2000) untersucht. Die Zusammenhänge zur Biomasse sind in den Abbildungen 11-14 und 11-15 dargestellt. Es wird deutlich, dass alle drei Indizes mit steigender Biomasse zunehmend ungeeigneter sind, um Bestände und Standorte zu differenzieren.

Wesentlich bessere Ergebnisse lassen sich bisher über die Differenzierung der Oberflächentemperatur erzielen, wie Abbildung 11-16 verdeutlicht. Das Bestimmtheitsmaß des linearen Zusammenhanges beträgt $r^2 = 0,90^{***}$. Die Linearität des Zusammenhanges erlaubt es, über die gesamte Bandbreite eine Differenzierung der Biomassen zu realisieren.

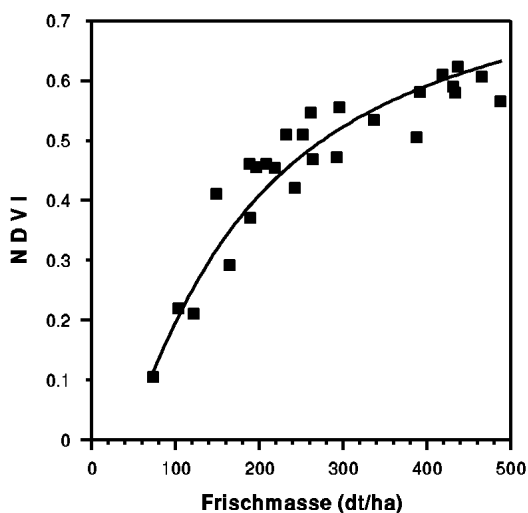


Abb. 11-13:

Zusammenhang zwischen dem „Normalized Differential Vegetation Index“ (NDVI) und der Biomasse bei Winterweizen, Wulfen, 01.08.00

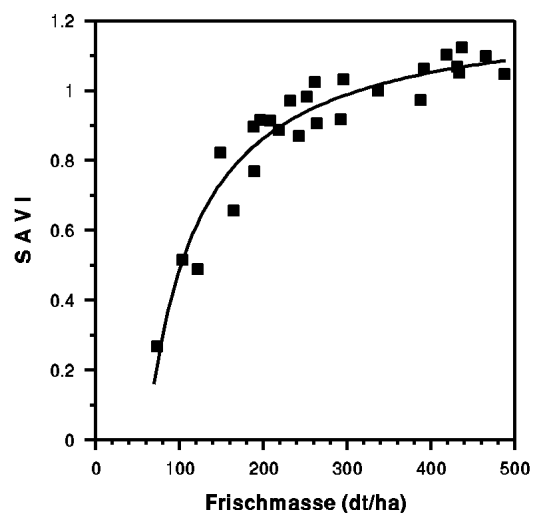


Abb. 11-14:

Zusammenhang zwischen dem „Soil Adjusted Vegetation Index“ (SAVI) und der Biomasse bei Winterweizen, Wulfen, 01.08.00

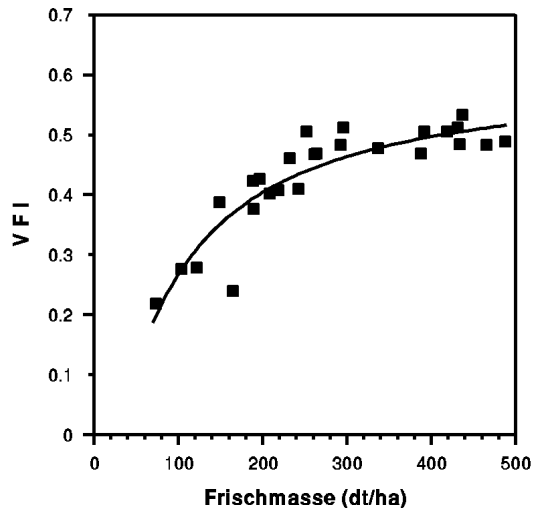


Abb. 11-15:
Zusammenhang zwischen dem „Vegetation Fraction Index“ (VFI) und der Biomasse bei Winterweizen, Wulfen, 01.08.00

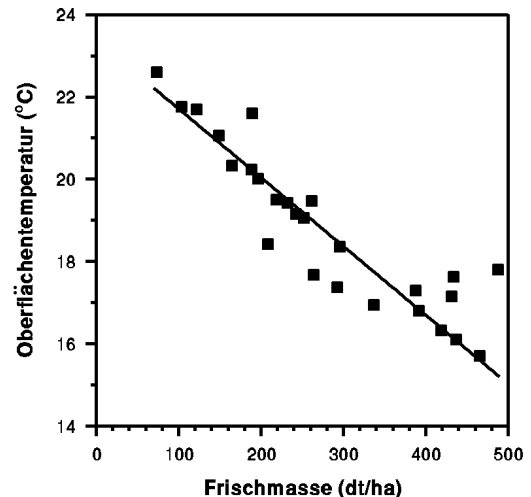


Abb. 11-16:
Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur und der Biomasse bei Winterweizen, Wulfen, 01.08.00

11.4.3.5 Bioindikative Ableitung des Bodenwasserspeichers mittels Fernerkundung

Will man Bodeneigenschaften mittels Fernerkundung detektieren, so muss man berücksichtigen, dass Böden zumeist durch Pflanzen bedeckt sind. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass von der Bodenoberfläche nur selten Rückschlüsse auf Eigenschaften des Bodenprofils gezogen werden können. Da Pflanzen in ihrem Wachstum aber auf Bodeneigenschaften reagieren, sollte es möglich sein, den Zustand des Pflanzenaufwuchses als Bioindikator für Bodeneigenschaften zu nutzen.

Wie bereits gezeigt, sind die gebildete Biomasse und die Aufwuchsbionität wichtige Parameter zur Differenzierung des Aufwuchses. In Regionen mit negativer Wasserbilanz während der Vegetationszeit ist das pflanzenverfügbare Bodenwasser die limitierende Bodeneigenschaft. Abgesehen von lokalen Einflüssen durch Grundwasser und laterales Zuschusswasser, steht den Pflanzen nur die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWt) zur Verfügung. Dieser Bodenparameter wurde als die zentrale Regelgröße der Bodenproduktivitätsfunktion identifiziert. Die nFKWt korreliert deshalb eng mit der Biomasse (Abb. 11-17) und der Aufwuchsbionität (Abb. 11-18).

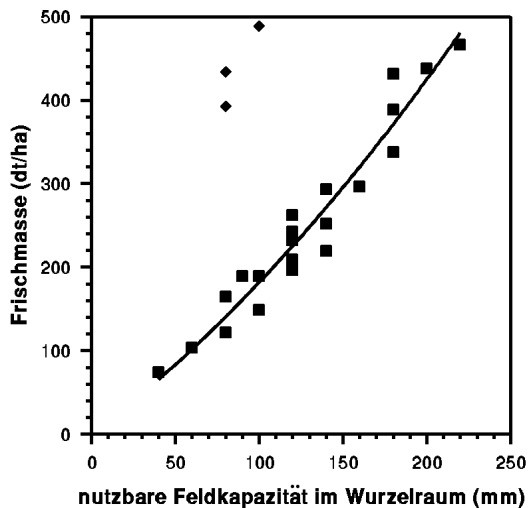


Abb. 11-17:

Zusammenhang zwischen nutzbarer Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWt) und Biomasse bei Winterweizen

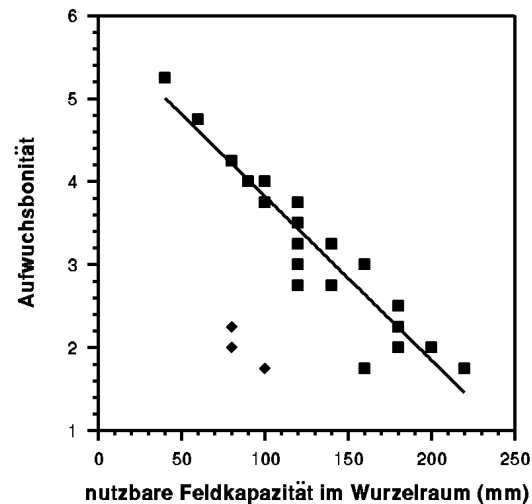


Abb. 11-18:

Zusammenhang zwischen nutzbarer Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWt) und Aufwuchsbonität bei Winterweizen

Um die standörtliche Produktivität zu quantifizieren, ist der Einfluss von Grundwasser und lateralem Zuschusswasser aber zu berücksichtigen. Die in den Abbildungen 11-17 und 11-18 vom allgemeinen Trend abweichenden, durch Rauten gekennzeichneten Standorte zeigen dies deutlich. In der Reaktion des Pflanzenbestandes auf das standörtliche Wasserdargebot ist dieser Effekt bereits integriert. Dies ermöglicht eine genauere Ableitung der Bodenproduktivität über die Erfassung des Aufwuchszustandes als dies durch die bodenkundliche Ansprache von Bohrkernen möglich wäre.

Die Untersuchungen an Winterweizen ergaben ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,93^{***}$ für den Zusammenhang zwischen der nFKWt und der Biomasse an Standorten ohne Einfluss von Grundwasser oder Lateralwasser (Abb. 11-17) zum Zeitpunkt der beginnenden Abreife des Aufwuchses (ca. EC 77).

Da die thermalen Eigenschaften der Bestandesoberfläche die geeignetste Beziehung zum Aufwuchszustand aufwiesen und der Aufwuchszustand am deutlichsten mit dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser korreliert, wurde über diese Zusammenhänge die Transferfunktion zur räumlichen Ableitung der Wasserverfügbarkeit gebildet. In Abbildung 11-19 ist das Ergebnis der aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Karte des pflanzenverfügbaren Bodenwassers für den Schlag 141 des Betriebes Wulfen dargestellt. Klassenbreiten von 50 mm pflanzenverfügbaren Bodenwassers konnten signifikant abgegrenzt werden.

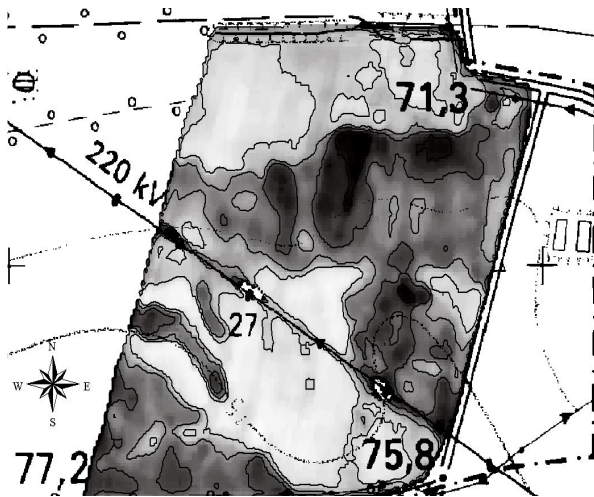


Abb. 11-19:

Karte des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers für den Schlag 141 des Betriebes Wulfen

11.4.3.6 Ertragsvorhersage

Eine möglichst frühe Vorabschätzung der zu erwartenden Erträge stellt eine potentiell wichtige Informationsgrundlage für vor allem pflanzenbauliche, betriebliche aber auch überbetriebliche Managemententscheidungen dar. Beispiele hierfür sind die Düngung bzw. der Pflanzenschutz, aber auch die Planung regionaler Transport- und Lagerkapazitäten, Planungsstrategien für den Verkauf bzw. Zukauf von Ernteprodukten etc.

Die Vorhersage von Ertragsleistungen wird umso besser, je kurzfristiger zum Erntetermin sie erfolgt. Sie ist jedoch umso wertvoller, je früher sie vor dem Erntetermin erfolgen kann. Die zentralen Fragen lauten deshalb: Was sind möglichst frühe geeignete Termine der Bestandesentwicklung, die eine ausreichend gute Ertragsvorhersage ermöglichen? Wie gut lässt sich der Ertrag zu welchen Terminen bestimmen?

Wenn durch „Inaugenscheinnahme“, also Bonitur, eine Ertragsabschätzung bei Winterweizen zur Teigreife möglich ist, so kann vermutet werden, dass dies auch mit Spektraldaten möglich ist. Hierzu werden die Beziehungen zwischen Bonitur, Biomasse, Ertrag und spektraler Signatur untersucht. Die Untersuchungen erfolgten bei Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrüben. Erste Ergebnisse werden hier exemplarisch für Winterweizen vorgestellt.

Da zu frühen Terminen der Ertragsvorhersage keine Abschätzung der weiteren Witterungsbedingungen möglich ist, kann der Effekt der Witterung auf die absolute Höhe der Ertragsbildung nicht berücksichtigt werden. Ertragsleistung ist deshalb nicht aus dem Bestandeszustand vorherzusagen. Die engen Zusammenhänge zwischen Aufwuchszustand und Kornertrag zeigen jedoch, dass eine räumliche Differenzierung der Relativerträge sehr gut auf der Grundlage von Fernerkundung realisiert werden kann. So werden mit der differenzierten Biomasse zum Zeitpunkt der beginnenden Abreife des Aufwuchses bereits die Differenzierungen der späteren Erträge angezeigt (Abb. 11-20). Das Bestimmtheitsmaß zwischen Biomasse bei EC 77 und dem Kornertrag betrug $r^2 = 0,96^{***}$. Bezogen auf die Aufwuchsbonität war es noch etwas höher. Dieses Ergebnis unterstreicht, dass der Aufwuchszustand zur Prognose von relativen Kornerträgen und die Erfassung ihres räumlichen Musters innerhalb der Felder geeignet ist.

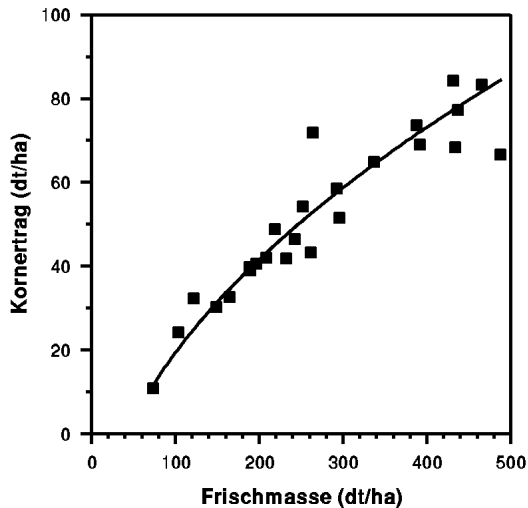


Abb. 11-20:
Zusammenhang zwischen der Biomasse und dem
Kornertrag bei Winterweizen

11.4.3.7 Ableitung des bodenbürtigen Ertragspotentials

Die hohen Bestimmtheitsmaße des pflanzenverfügbaren Bodenwassers zum Aufwuchs und zur Ertragsleistung zeigen, dass die Eigenschaften des Bodens zur Speicherung pflanzenverfügbaren Wassers das standörtliche Ertragspotential und damit die Produktionsfunktion des Standortes bestimmen. Bei negativer Wasserbilanz während der Vegetationsphase lassen sich die standörtlichen Unterschiede in der Ertragsleistung zu 90 % aus den Unterschieden des Bodenwasserspeichervermögens erklären. Das bodenbürtige Ertragspotential ist deshalb in erster Näherung dem Speicherungsvermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser gleichzusetzen. Die Gegenüberstellung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum mit der tatsächlichen Ertragsleistung unterstreicht dieses Ergebnis (Abb. 11-21).

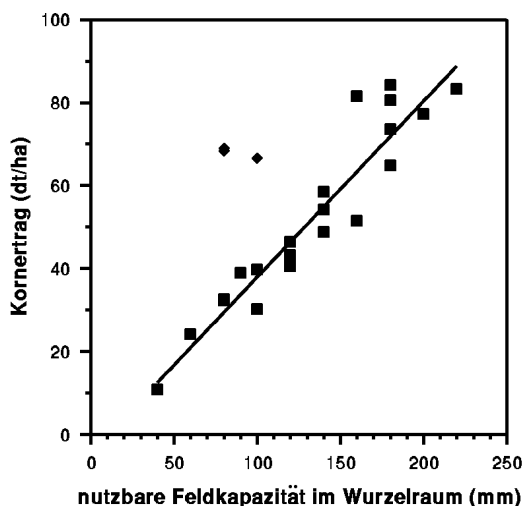


Abb. 11-21:
Zusammenhang zwischen der nutzbaren Feld-
kapazität im Wurzelraum (nFKWt) und dem
Kornertrag bei Winterweizen

11.4.3.8 Bilanzierung des standortspezifischen Düngungsbedarfs

Ausgehend von der Karte des pflanzenverfügbaren Wassers wurde die standortspezifische Effizienz der Stickstoffdüngung untersucht. In Tabelle 11-2 sind die Daten von drei repräsentativen Standorten zusammengestellt.

Tab. 11-2: Stickstoffbilanzierung für drei repräsentative Böden des Untersuchungsgebietes

		Sand	Sandiger Lehm	Lehmiger Schluff
nFKWt	<i>(mm)</i>	40	140	220
Kornertrag	<i>(t · ha⁻¹)</i>	1,1	4,9	8,3
Stickstoffaufnahme ins Korn	<i>(kg · ha⁻¹)</i>	35	125	192
Stickstoffdüngung	<i>(kg · ha⁻¹)</i>	180	180	180
Stickstoffbilanz	<i>(kg · ha⁻¹)</i>	+ 145	+ 55	- 12
Effizienz der Stickstoffdüngung	<i>(%)</i>	19	69	106

Die Ergebnisse unterstreichen die zentrale Bedeutung des pflanzenverfügbaren Wassers für die standortspezifische Effizienz der Stickstoffdüngung. Nach den bisherigen Ergebnissen sollte die Stickstoffdüngung an die Wasserverfügbarkeit gekoppelt sein. Geringe Wasserverfügbarkeit eines Standortes führt bei einheitlich hoher (betriebsüblicher) Stickstoffdüngung zu hohen Mengen an Reststickstoff im Boden und damit einem hohen Risiko für Stickstoffausträge ins Grundwasser oder andere ökologische Nachbarkompartimente wie die Atmosphäre oder Gewässer. Die Stickstoffentzüge durch Kornerträge bei Winterweizen konnten im Wesentlichen auf die Unterschiede in der bodenbürtigen Wasserverfügbarkeit zurückgeführt werden ($r^2 = 0,90^{***}$). Mit der Biomassebildung zum Entwicklungsstadium EC 77 konnte bereits die räumliche Differenzierung der Stickstoffaufnahme ins Korn quantitativ erfasst werden ($r^2 = 0,94^{***}$). Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass unter den Bedingungen einer negativen Wasserbilanz während der Vegetationszeit Boden-Karten der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherfähigkeit eine hervorragende, prozessbasierte Grundlage für die Anwendung standortspezifischen Stickstoffmanagements darstellen. Es kann ebenfalls angenommen werden, dass diese Karten als zentrale Grundlage für Managementsysteme zur Aussaat und zur Bestandesführung im Allgemeinen dienen können.

In Abbildung 11-22 ist der Zusammenhang zwischen der bis zur Ernte gebildeten Gesamt-Trockenmasse und der Stickstoffaufnahme dargestellt. Abbildung 11-23 zeigt den Zusammenhang für Kornertrag und Stickstoffaufnahme ins Korn. Zwischen 70 und 260 kg · ha⁻¹ liegt die Stickstoffaufnahme durch den Pflanzenaufwuchs. 40 bis 200 kg · ha⁻¹ werden den Standorten durch die Kornerträge entzogen. Die enormen Unterschiede der Stickstoffentzüge aus dem Boden zeigen deutlich die Notwendigkeit einer standortangepassten Stickstoffdüngung im Untersuchungsgebiet.

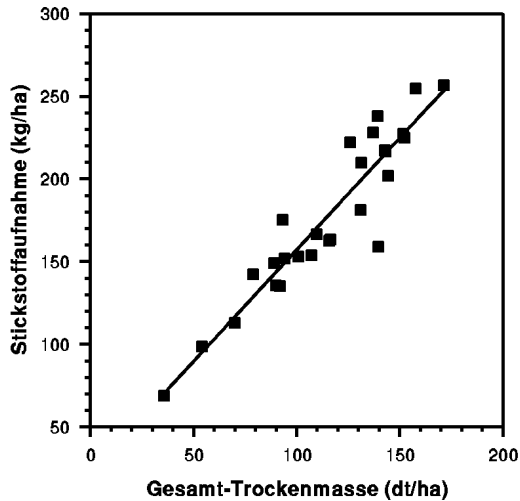


Abb. 11-22:

Zusammenhang zwischen der Gesamt-Trockenmasse und der Stickstoffaufnahme des Pflanzenaufwuchses von Winterweizen

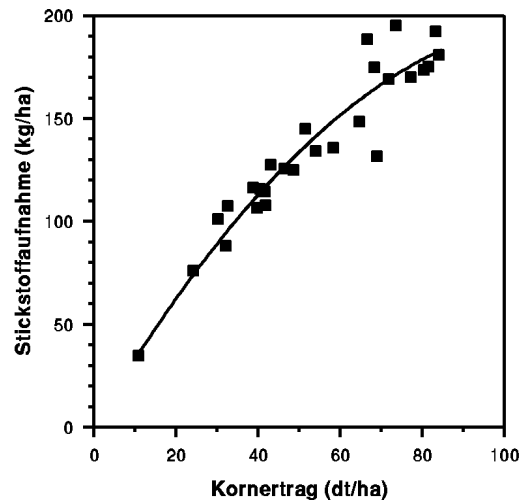


Abb. 11-23:

Zusammenhang zwischen dem Kornertrag und der Stickstoffaufnahme ins Korn bei Winterweizen

11.4.3.9 Beurteilung der angepassten Bewirtschaftungsintensität – ökologische und ökonomische Potentiale

Bewirtschaftung ist nur dann an den Standort angepasst, wenn sie ökologische Risiken vermeidet und ökonomische Potentiale ausschöpft. Die vorgestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass Standorte mit geringem Wasserangebot nur eine extensivierte Bewirtschaftung vertragen, um an die ökologischen Bedingungen (keine Befruchtung von Nachbarkompartimenten) und an einen ökonomisch vernünftigen Ressourceneinsatz (Düngereffizienz) angepasst zu sein. Die Ergebnisse zeigen deutlich auf, dass mit geringerer Wasserverfügbarkeit eine extensivere Bewirtschaftungsintensität der Standorte realisiert werden muss. Solche Standorte stellen gleichzeitig wertvolle Ackerbiotope für den Artenschutz dar (Tab. 11-3; aus Harrach, 1993). Ihre extensivere Bewirtschaftung stellt damit gleichzeitig eine ökologische Leistung des landwirtschaftlichen Betriebes im Sinne der Biodiversität des Artenschutzes dar, ohne dass damit Einkommenseinbußen verbunden sein müssen.

Tab. 11-3: Ökologische Bedeutung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFK_{wr})

	nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum	
	hoch	gering
Ertragspotential des Bodens	hoch	gering
Ertragssicherheit	hoch	gering
Nährstoffentzug bei der Ernte	hoch	gering
Verwertung der Nährstoffe	hoch	gering
Wasserverbrauch durch die Pflanzen	hoch	gering
Grundwasserneubildung ¹	gering	hoch
Nitrataustragsgefährdung	gering	hoch
potentielle Eignung des Standortes für Biotope ²	gering	hoch

¹Sickerwasserspende bei durchlässigem Unterboden und Untergrund

²bei extensiver, naturschutzgerechter Bewirtschaftung

11.4.4 Ausblick

Ziel der Teilaufgabe „Multispektrale Fernerkundung“ ist es, Standortcharakteristika von Teilflächen heterogener Schläge aus fernerkundlichen Informationen abzuleiten und daraus Ertragspotentiale der einzelnen Teilflächen zu ermitteln. In einem abgestuften Vorgehen soll ein detailliertes Bild der teilflächenspezifischen Standorteigenschaften abgeleitet werden.

Die *Validierung der fernerkundlichen Informationen* wird zielgerichtet fortgesetzt. Differenzierte Karten der Standorteigenschaften und Ertragspotentialkarten liegen vor. Mit der erfolgreichen Durchführung der Befliegungen des Jahres 2000 wird es möglich sein, die Bedeutung mehrjähriger Informationen gezielt einzuschätzen. Auch besteht nun die Möglichkeit, saisonale Zeitreihenuntersuchungen durchzuführen. Mit Hilfe von terminbezogenen Transferfunktionen soll dann gezielt der Versuch unternommen werden, die allgemeine Aussagefähigkeit der fernerkundlichen Information zu validieren. Analog wie bei der ECa-Information wird mit dieser, aber auch mit anderen dann vorliegenden räumlichen Informationen, bspw. Ertragskarten, Bodenkarten und anderen spektralen Karten, eine Kreuzvalidierung der jeweiligen Dateninformationsquellen durchgeführt. Die dann vorliegenden detaillierten Informationen der Standorteigenschaften (bspw. nutzbare Feldkapazität) und der Ertragspotentiale sollen die Basis von Managementstrategien darstellen. Die Arbeiten werden von Winterweizen auf Zuckerrüben und evtl. auch Wintergerste ausgedehnt.

Aufwuchsbonituren und Zustandskarten: Als Instrument der Wirkungskontrolle von standortspezifischen Managementstrategien werden Zustandskarten vor allem zur Biomassenentwicklung und zur Stickstoffaufnahme prozessiert. Hierzu werden so genannte Vegetationsindizes untersucht. Diese werden auf Korrelationen von Spektraldaten mit Referenzdaten aus den Messkampagnen zurückgreifen und als metrische (quantitative) Zustandskarten ausgeführt. Diese dienen der Validierung der Modulanwendungen aus den Jahren 1999 und 2000. Hier sind insbesondere Bilanzierungen der standortspezifischen Ressourcenaufwendungen zu nennen. Die Arbeiten zur

Entwicklung von Aufwuchsbonituren als Basis für die Entwicklung eines Anforderungskataloges an ein Referenzdatensystem zum Controlling von Managementsystemen werden fortgesetzt.

Indikatormodelle und Standortkarten: Die entwicklungsmethodischen Arbeiten zur Herleitung bioindikativer Transferfunktionen bis hin zu Indikator-Signaturmodellen und deren Validierung bilden den zentralen Arbeitsschwerpunkt der fernerkundlichen Arbeiten dieses Teilprojektes. Die Untersuchungen des Wirkungsgefüges Boden-Pflanze-Sensor mit multivariaten Methoden der räumlichen Statistik und die algorithmische Segmentierung von Spektraldaten stehen weiterhin im Vordergrund. Erste Standortkarten mit wissenschaftlich fundierter Validierung zum pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher liegen vor. Die Untersuchungen zur Ableitung von funktionalen Oberboden-Karten werden fortgeführt, soweit die finanziellen Möglichkeiten dies erlauben.

Ertragsprognose: Die Analyse der Möglichkeiten zur Vorhersage von Ertragsunterschieden mittels multispektraler Fernerkundung werden fortgeführt. Neben Winterweizen werden auch Zuckerrüben und Wintergerste in die Arbeiten einbezogen.

11.5 Teil III - Dynamische Bodenwassermodellierung

11.5.1 Einleitung und Problemstellung

In Regionen mit niedrigem durchschnittlichem Jahresniederschlag und unregelmäßiger Niederschlagsverteilung sowie sich häufig daraus ergebener negativer Wasserbilanz ist das Wasser ein sehr wichtiger ertragsbestimmender Faktor. Im Verbundprojekt *pre agro* sind diese Regionen durch die Standorte Wimex und TAS-Raguhn repräsentiert. Im Betriebsteil Wulfen des Standortes Wimex lag die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge in den letzten 40 Jahren bei 474 mm und schwankte zwischen 277 und 654 mm. In einer solchen Region ist die Erfassung der räumlichen und zeitlichen Verteilungsmuster des Bodenwassers wichtiger Bestandteil der Ableitung von teilflächenspezifischen Managementstrategien. Dies gilt für Regenfeldbau- ebenso wie für Bewässerungsanbaumethoden.

11.5.2 Material und Methoden

Zur Erfassung der hochaufgelösten räumlichen Verteilung des Bodenwassers werden vor allem Methoden der multispektralen Fernerkundung eingesetzt (siehe Kapitel 11.4). Zur Kalibrierung und Validierung der Fernerkundungsdaten werden unter anderem punktuelle Messungen des volumetrischen Wassergehaltes, der Saugspannung des Bodens und des Pflanzenwasserstatus sowie der Biomasse genutzt. Darüber hinaus werden die Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (ECa) sowie im Jahresgang periodisch erfasste punktuelle ECa-Messungen zur Datenvalidierung verwendet. Außer als „Ground Truth“ für die Fernerkundung dienen die Daten auch der Kalibrierung und Validierung des Bodenwassermodells. Der volumetrische Bodenwasserge-

halt wird mit Hilfe des kapazitiven Messprinzips¹ gemessen. Im Betriebsteil Wulfen werden zwei auf der kapazitiven Messtechnik beruhende Systeme des australischen Herstellers Sentek eingesetzt. Während der „EnviroScan“ fest installiert ist und über einen Datenlogger den Wassergehalt von 5 Messtiefen im 10 Minutentakt misst, stellt der „Diviner“ eine mobile Messeinheit dar, die bis zu 16 Messtiefen erfasst und im Teilprojekt die räumliche Verteilung des Bodenwassers mit einer etwa wöchentlichen Messfrequenz erfasst. Auf ausgewählten Schlägen werden auf etwa 1 Messstandort/10 ha mit den EnviroScans bzw. Divinern die Bodenwasserdaten erfasst. Eine räumliche Interpolation ist mit dieser geringen Dichte natürlich nicht möglich, die ausgewählten Standorte repräsentieren jedoch das Spektrum der heterogenen Bodeneigenschaften, die bestimmend für den Bodenwasserhaushalt sind, und werden zur Kalibrierung und Validierung von Fernerkundungsdaten genutzt. An den EnviroScan-Standorten wird außerdem die Saugspannung des Bodens in 5 Tiefen mit Tensiometern erfasst.

Mit der Messung des Pflanzenwasserstatus durch die Scholanderbombe wird untersucht, ob die Pflanze auch mit dieser Methode als Bioindikator zur Ableitung des räumlichen und zeitlichen Bodenwasserstatus genutzt werden kann.

Die langjährige zeitliche Variabilität des Bodenwassergehaltes wird mit dem Bodenwasserhaushaltsmodul des DSSAT-Programmpaketes simuliert. Zur Kalibrierung und Validierung dienen die Daten der kapazitiven Bodenwassergehaltsmessung.

Mit den durch die Ableitung des Topographischen Wetness-Index aus dem digitalen Höhenmodell gewonnenen Daten sollen die reliefbürtigen Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt quantifiziert werden.

11.5.3 Ergebnisse und Diskussion

Die in Kooperation mit dem Teilprojekt Relief durchgeführten Arbeiten zum Topographischen Wetness-Index zeigen für den Schlag 641 des Betriebsteils Wulfen gute Übereinstimmungen zwischen TWI und Bodenwassergehalt (siehe Abb. 11-24), TWI und ECa-Signal bzw. Bodentextur (siehe Tab. 11-4) sowie ECa-Signal und Biomasse (siehe Tab. 11-5). Die größte Korrelation zwischen TWI und Bodenwassergehalt wurde in Tiefen zwischen 20 - 60 cm gefunden. Im Oberboden waren die Korrelationen, insbesondere in Trockenperioden schlecht. Die beste Übereinstimmung ($r = 0,6-0,8$) ergab sich im Zeitraum von 3 - 4 Tagen nach einem Niederschlagsereignis. Der Korrelationskoeffizient zwischen den TWI und dem ECa-Signal der 12 gemessenen Standorte lag bei $r = 0,52$.

¹ Der Boden mit dem darin enthaltenen Wasser wirkt wie das Dielektrikum eines Kondensators und ändert in Abhängigkeit vom Wassergehalt die Frequenz eines Schwingkreises. Über eine, der Bodenart angepasste Kalibrierungsfunktion wird dann der volumetrische Wassergehalt aus der Frequenz abgeleitet.

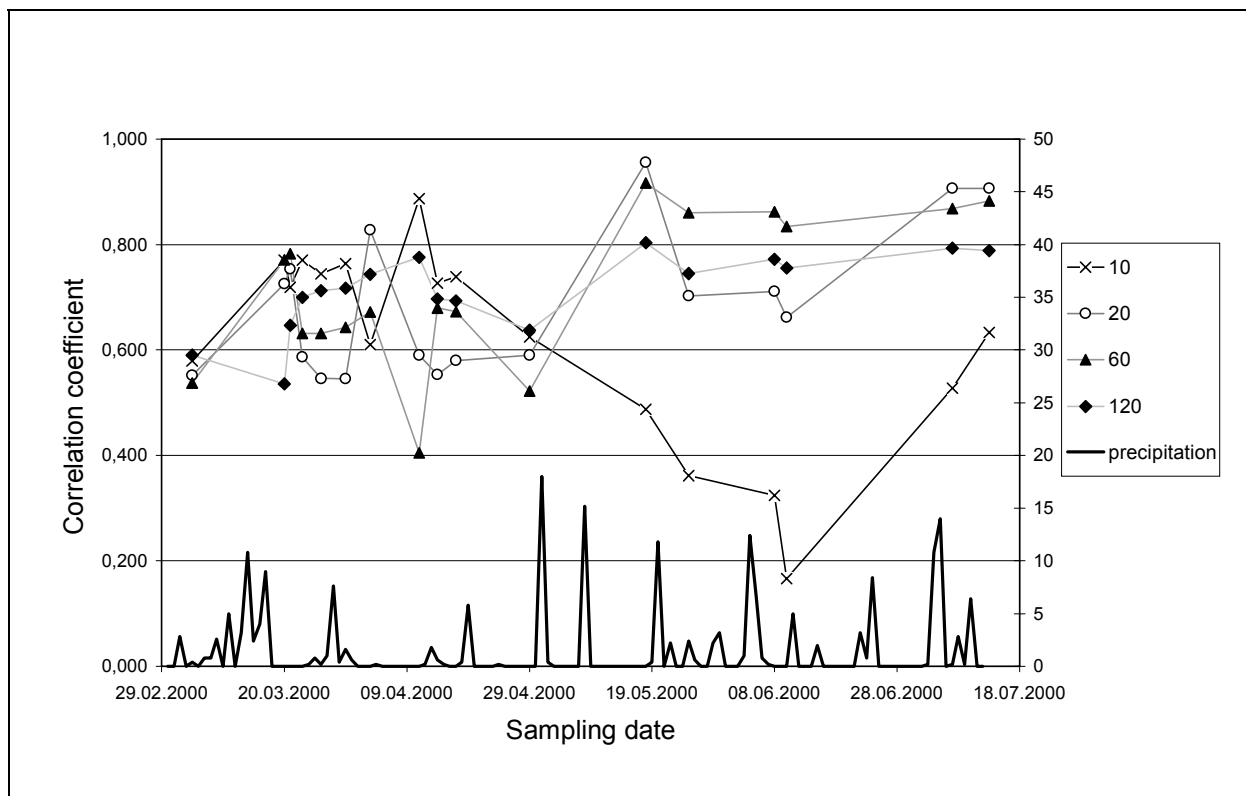


Abb. 11-24: Zeitliches Verteilungsmuster der Korrelation zwischen Topographischem Wetness-Index (TWI) und Bodenwassergehalt in verschiedenen Bodentiefen (cm). Zusätzlich werden die Niederschläge (in mm) angezeigt.

Tab. 11-4: Korrelationskoeffizient von ECa-Messungen und Bodentextur an 12 Standorten des Schlags 641 in Wulfen vor und nach Extraktion des TWI-Trends

r	Schluff+Ton	Schluff	Ton	TWI
ECa	0,50	0,38	0,53	0,52
ECa_korr	0,84	0,70	0,73	

Tab. 11-5: Korrelation zwischen ECa-Wert zu unterschiedlichen Messzeitpunkten und der Biomasse kurz vor der Abreife an 12 Standorten des Schlags 641 in Wulfen

Datum	ECa 03.04.00	ECa 29.04.00	ECa 24.05.00	ECa 09.06.00
Biomasse 26.06.00	r = 0,94	r = 0,92	r = 0,92	r = 0,88

Das ECa-Signal wird entscheidend von den Parametern Textur, Bodenwassergehalt, Lagerungsdichte und Salzgehalt bestimmt. Der TWI kann zur Interpretation des ECa-Signals genutzt werden. Die Tabelle 11-4 zeigt, wie die Korrelation des ECa-Signals und der Bodentextur sich verbessert, wenn die durch den Bodenwassergehalt verursachte Drift über den TWI herausgerechnet wird. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der TWI auf dem Schlag 641 in Wulfen wichtige Erkenntnisse über räumliche und zeitliche Verteilungsmuster liefern konnte.

Die dynamischen Modellierungen des Bodenwasserhaushaltes mit dem Modellpaket DSSAT haben gerade erst begonnen. In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Ertragspotentiale werden langjährige Ertragsszenarien unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen erstellt. Damit soll zunächst der Einfluss der Witterungsdynamik auf den Bodenwasserhaushalt und die Ertragsbildung erfasst und beschrieben werden. In einem nächsten Schritt sollen dann die Modellierungen auch zur Ableitung von aktuellen Ertragserwartungen genutzt werden. Wichtigste Voraussetzung zur Nutzung von Simulationsmodellen ist das Vorhandensein von qualitativ hochwertigen Inputdaten. Für den Modellteil Bodenwassersimulation soll die Kalibrierung und Validierung mit Daten der kapazitiven Bodenwassersensoren geschehen. Zur Ermittlung der Messgenauigkeit der Sensoren wurde ein System in ein Lysimeter der TU Berlin am Standort Dahlem eingebaut und die Messdaten von Lysimeter und dem Sensorsystem „Diviner“ verglichen. Der Korrelationskoeffizient lag bei $r = 0,96$. Die Sensorsysteme werden momentan mit der voreingestellten Kalibrierungsfunktion betrieben. Diese liefert zwar sehr genaue relative Daten, die absoluten Werte liegen jedoch noch um etwa 30 % über den realen Werten. In diesem Winter und im Frühjahr 2002 werden umfangreiche Labor- und Feldversuche unternommen, um Kalibrierungsfunktionen für verschiedene Projektstandorte zu erarbeiten. Außer zur Kalibrierung des Bodenwassermodells sollen die räumlich (5 - 16 Messtiefen) und zeitlich (bis zu 6 Messungen/Stunde) hochaufgelösten Daten der kapazitiven Messsensoren auch zur Bestimmung der Entwicklung der Durchwurzelungstiefe im Jahresgang und zur Ermittlung der Evapotranspiration und zur Ableitung von Crop-Koeffizienten genutzt werden.

Das Bodenwasserhaushaltsmodell des DSSAT Modellpaketes wurde von J.T. Ritchie erstellt und wird fortwährend weiterentwickelt. Als Inputdaten dienen Niederschlag, Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Texturinformationen und Lagerungsdichte. Die Bodenwasserbilanz wird als Funktion von Niederschlag, Bewässerung, Transpiration, Evaporation, Oberflächenabfluss und Versickerung berechnet. Es können mehrere Bodenhorizonte definiert werden. Kapillarer Aufstieg sowie laterale Zu- und Abflüsse werden gegenwärtig nicht berücksichtigt. Abbildung 11-25 zeigt den Vergleich von simulierten Bodenwasserdaten mit den von Messsensoren des EnviroScan-Systems gemessenen Daten. Durch die nicht angepasste Kalibrierungsfunktion liegen auch hier die absoluten volumetrischen Bodenwassergehaltswerte des kapazitiven Messsensors um ca. 30 % zu hoch. Die Korrelation zwischen simuliertem und gemessenem volumetrischen Bodenwassergehalt liegt bei $r = 0,99$. Wird der Graph des gemessenen Bodenwassergehaltes um ca. 30 % nach unten korrigiert, liegen simulierter und gemessener Bodenwassergehalt nahezu parallel.

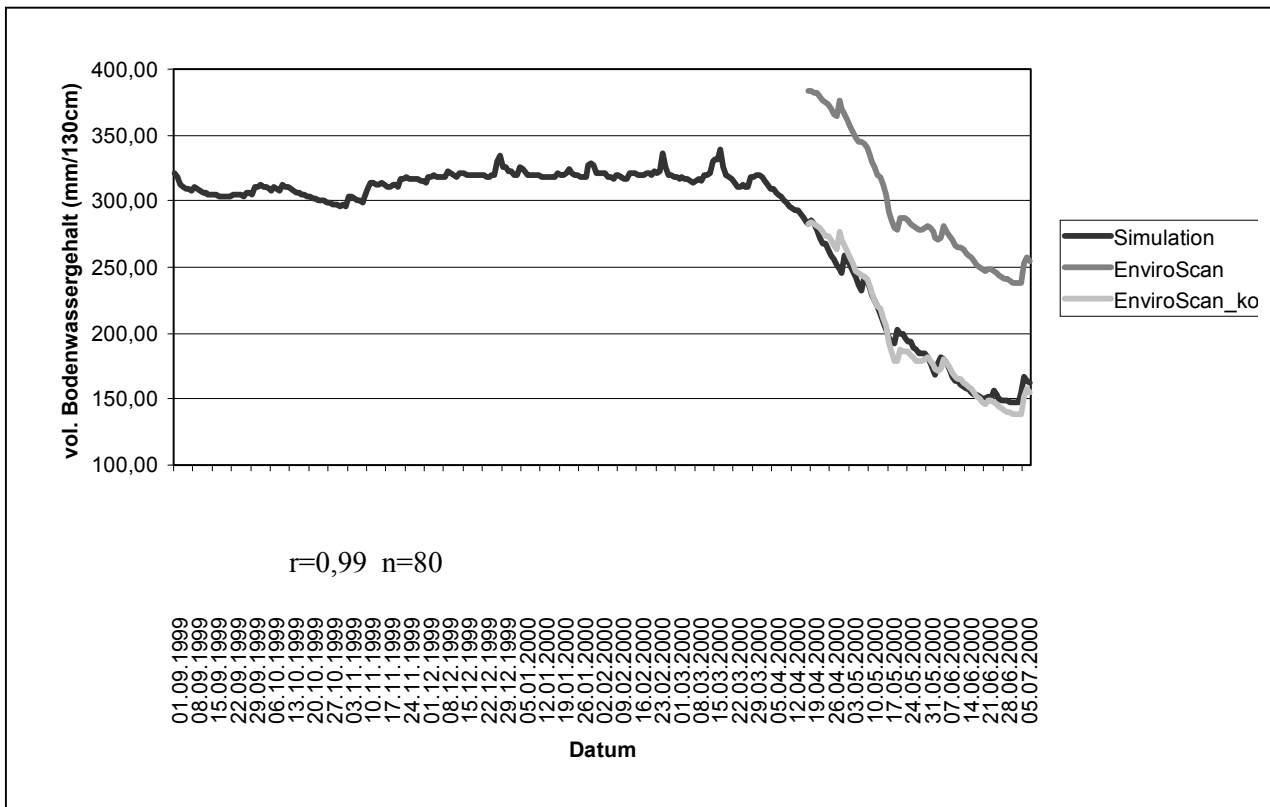


Abb. 11-25: Korrelation zwischen simuliertem und gemessenem Bodenwassergehalt des Schlags 641 in Wulfen (angebaute Kultur: Winterweizen) für das Anbaujahr 1999/2000

11.5.4 Weiteres Vorgehen, übergreifende Verknüpfungen

Für die langjährigen Ertragsszenarien müssen noch weitere Inputparameter erarbeitet werden. Für das Bodenwasserhaushaltsmodul müssen die jeweiligen Startwerte der Simulation, die großen Einfluss auf die Ergebnislage besitzen, ermittelt werden. In der kommenden Vegetationsperiode sollen weiterhin wichtige Inputparameter für die Simulation der Pflanzenentwicklung erhoben und ausgewertet werden. Dazu zählen Biomasse zu verschiedenen Zeitpunkten, der Blattflächenindex sowie phänologische Parameter. Ziel ist es, das Bodenwasser- und das Pflanzenwachstumsmodell auf einem Schlag an 12 Teilflächen (d. h. Standorten im Schlag), die das Heterogenitätsspektrum hinsichtlich der Bodeneigenschaften abdecken, zu kalibrieren und das so kalibrierte Gesamtmodell auf anderen Schlägen zu validieren. Ist dies erfolgreich geschehen, soll versucht werden, mit aus der Fernerkundung abgeleiteten Daten sowie mit Hilfe des Topographischen Wetness-Index die Modellierung vom Punkt in die Fläche zu übertragen. Die Modellierung von langjährigen Ertragsszenarien mit Hilfe von historischen Klimadaten soll die räumliche und zeitliche Variabilität von Bodenwasserhaushalt und Ertragsbildung untersuchen und zum Verständnis der standortspezifischen Ertragsmuster beitragen. Schließlich soll versucht werden, durch Einbeziehung aktueller Wetter-, Pflanzen- und Bodenwasserdaten in die Simulation Prognosen für die Ertragserwartung während einer aktuellen Vegetationsperiode zu erstellen, so mögliche Managementstrategien zu entwickeln und ihre Wirkungen durch Simulation zu quantifizieren. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird die Kooperation mit den Teilprojekten Relief und Ertragspotential fortgesetzt bzw. intensiviert werden. Eine Kooperation mit dem Teilprojekt Luftbilder (TP II-2) wird angestrebt.

11.6 Literatur

- Bobert, J., Schmidt, F., Gebbers, R., Selige, T. und Schmidhalter, U. (2001): Estimating soil moisture distribution for crop management with capacitance probes, EM-38 and digital terrain analysis. - Proceedings 3rd ECPA, Montpellier.
- IBSNAT, (1999): DSSAT35, A Decision Support System for Agrotechnology Transfer. - University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Harrach, T. (1993): Grundsätze einer umweltverträglichen und naturschutzgerechten Landbewirtschaftung unter besonderer Berücksichtigung der Standortverhältnisse. - Scientific Conference on New Strategies for Sustainable Rural Development, 22.-25. 03. 1993, Gödöllő, Ungarn.
- Schmidhalter, U., Zintel, A. und Neudecker, E. (2001): Calibration of electromagnetic induction measurements to survey the spatial variability of soils. - Proceedings 3rd ECPA, Montpellier.
- Selige, T. und Schmidhalter, U. (2001): Site specific soil resource mapping using remote sensing. - Proceedings of the 3rd European Conference for Precision Agriculture, Montpellier, France.
- Selige, T. und Schmidhalter, U. (2001): Remote sensing of soil properties to support site specific farming. - Proceedings of the International Plant Nutrition Conference, Hannover, Germany.
- Selige, T. und Schmidhalter, U. (2001): Soil resource mapping for precision farming using remote sensing. - Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, Australia.
- Selige, T., Ruthenkolk, F. und Schmidhalter, U. (2001): Geo-Physical Properties of Topsoils Retrieved from Field-Spectroscopic Data. - Proceedings of the International Workshop of Spectroscopy Applications in Precision Farming, Weihenstephan, Germany.

11.7 Adressen

Prof. Dr. U. Schmidhalter, Dr. T. Selige, Dipl. Ing. agr J. Bobert,
Dipl. Ing. Gartenbau E. Neudecker
Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Department für Pflanzenwissenschaften
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Am Hochanger 2
85350 Freising-Weihenstephan
Tel: 08161/71-3391
08161/71-4528
Fax: 08161/71-4500
E-Mail: schmidhalter@weihenstephan.de
selige@weihenstephan.de
bobert@toax.de
neudecker@weihenstephan.de

