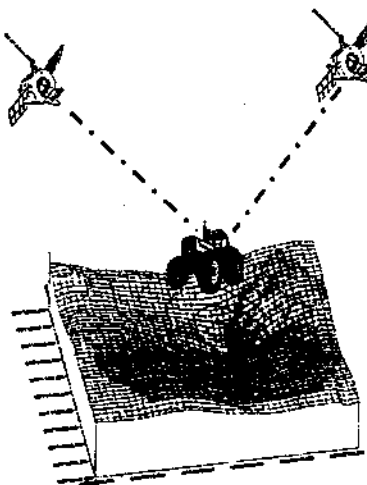




Universität Rostock
Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz

Sensorsysteme im Precision Farming

Tagungsband zum Workshop
27. und 28. September 1999 an der Universität Rostock



Herausgeber:

R. Bill, G. Grenzdörffer und F. Schmidt

Interner Bericht Heft Nr. 12
Institut für Geodäsie und Geoinformatik

Heft 12, 1999, S. 11-21

Landwirtschaftliche Standorterkundung mittels optischer Fernerkundung

452

Artikel zum Vortrag auf der Tagung
"Sensorsysteme im Precision Farming"
27./28.9.1999 in Rostock

Landwirtschaftliche Standorterkundung mittels optischer Fernerkundung

Thomas Selige

TU München-Weihenstephan
Institut für Bodenkunde, Pflanzenernährung und Phytopathologie
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Am Hochanger 2
D-85350 Freising; Germany
e-mail: Selige@weihenstephan.de

Einleitung

Der oft kleinräumige Wechsel des Standortfaktors Boden führt innerhalb von landwirtschaftlichen Flächen zu einer hohen räumlichen Variabilität der Standorteigenschaften, die sich bei landwirtschaftlichen Kulturen durch deutliche Wuchsunterschiede bemerkbar machen. Infolgedessen werden die Standortressourcen in unterschiedlichem Maße in Anspruch genommen. Dies hat Auswirkungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt. Eine nachhaltige und umweltschonende landwirtschaftliche Bodennutzung muß diese lokalen Standortbedingungen berücksichtigen. Sie muß standortangepaßt sein. Dies mit entsprechender Technik und Informationsmanagement zu erreichen, ist das Ziel des „precision farming“.

Mit „Differential Global Positioning System“ (DGPS) sind die technischen Voraussetzungen für standortangepaßtes Handeln der Landwirtschaft verfügbar. Mit DGPS geführte landwirtschaftliche Geräte ermöglichen die bodendifferenzierende Bewirtschaftung von Teilschlägen. Für teilschlagbezogene Handlungsmaßnahmen müssen jedoch auch die natürlichen Standortressourcen und deren Verbreitungsmuster in der Landschaft bekannt sein. Es ist Aufgabe der Standortkunde diese räumliche Heterogenität zu erfassen, Ertragspotentiale abzuschätzen und ökologische Risikopotentiale der Standorte zu beurteilen. Dafür sind Standortfunktionskarten als Grundlagen für standortangepaßte Landnutzungssysteme zu erarbeiten, die die Landwirtschaft dabei unterstützen, eine ökonomisch und ökologisch nachhaltige Bodennutzung zu praktizieren.

Fernerkundung ist ein Werkzeug, das neue Impulse in diese Richtung geben könnte. Der Einsatz dieser Technologien, die sich dadurch auszeichnen, daß mit ihr Flächendaten großmaßstäbig erfaßt und diese funktional differenziert werden können, soll im folgenden anhand einiger Forschungsarbeiten vorgestellt und diskutiert werden. Datengrundlage sind echte Flächenmessungen flugzeuggestützter Fernerkundung, die flächendeckend und mit hoher räumlicher Auflösung verfügbar gemacht werden können und damit zur großflächigen Übertragung punktueller Messungen geeignet sind.

Untersuchungsgebiete

Die nachfolgenden Beispiele entstammen Untersuchungen eines nordhessischen Wasserschutzgebietes, eines oberbayerischen Versuchsgutes und eines Rekultivierungsgebietes im rheinischen Braunkohlenrevier. Eine umfassende Beschreibung des hessischen Untersuchungsgebietes findet sich bei Peter (1997). Das Versuchsgut ist ausführlich in Auerswald & Kainz (1990) beschrieben. Angaben zu den Rekultivierungsgebieten finden sich bei Selige (1997).

Fernerkundung

Die Fernerkundungsdaten wurden mit einem 11-kanaligen Flugzeugscanner vom Typ Daedalus AADS-1268-ATM aufgezeichnet, der neben dem sichtbaren Licht (VIS) auch Wellenlängenbereiche des Nahen Infrarot (NIR), des Mittleren Infrarot (MIR) und der Thermalstrahlung (TIR) erfaßt. Die räumliche Auflösung der Daten beträgt circa 1,5 m. Zur flächenhaften Klassifizierung der Fernerkundungsdaten wurden Verfahren der digitalen Bildverarbeitung mit einem Geo-Informationssystem kombiniert.

Für die Nutzung der Fernerkundung ist entscheidend, daß mit dieser Technik nicht in den Boden hineingesehen werden kann. Fernerkundungsdaten spiegeln nur Informationen der Oberfläche wider. Da die Bodenoberfläche zumeist vom Pflanzenbestand bedeckt ist, wurde der Frage nachgegangen, inwieweit die Abgrenzung von Standorten und die Beurteilung bodenbürtiger Eigenschaften auf Rückschlüssen aus dem Zustand der Kulturpflanzenbestände

beruhen kann. Zusammenhänge zwischen Spektraldaten, Pflanzenparametern und Standorteigenschaften waren zu untersuchen, über die eine thematische Eichung der Spektraldaten erfolgen kann. Im folgenden werden Ergebnisse anhand von Winterweizen und Zuckerrüben vorgestellt, die als Kulturarten mit hohem Standortanspruch als Bioindikator besonders geeignet sind.

Mittels regressionsanalytischer und multivariater Ansätze wurden aus Zustandsbeschreibungen der Kulturpflanzenbestände und Bodeneigenschaften Transferfunktionen bestimmt, mit denen sich dann bioindikativ Standorteigenschaften aus den Fernerkundungsdaten ableiten ließen. Da die Kausalzusammenhänge zwischen Boden und Pflanze für das Anwendungsspektrum von Fernerkundungsdaten im geowissenschaftlichen Bereich von maßgebender Bedeutung sind, muß ein Konzept für den Einsatz der Fernerkundung als standortkundliche Methode auf den Erkenntnissen zum Wirkungsgefüge Boden-Pflanze begründet sein.

Standortkundliche Grundlagen: System Boden-Pflanze

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens bilden die Basis für das Pflanzenwachstum, speziell das Wurzelwachstum. Das Wurzelsystem hat die Aufgabe Wasser- und Nährstoffe aufzunehmen sowie Hormone als Steuerungselemente des pflanzlichen Wachstumsverlaufes zu produzieren. Dazu muß es sich schnell und flexibel an die jeweiligen Standortbedingungen anpassen können, um die pflanzliche Existenz zu sichern.

Je größer Ausdehnung und Tiefgang des Wurzelsystems, umso optimaler kann die Pflanze das Standortpotential nutzen (Rex 1984). Die Durchwurzelbarkeit des Bodens ist folglich ein entscheidender Faktor für die Wirkungsmechanismen im System Boden-Pflanze (Dumbeck 1986). Die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen sind wesentliche, das Pflanzenwachstum bestimmende Standorteigenschaften (Harrach & Vorderbrügge 1991). Die Nährstoffaufnahme der Pflanzen ist meist an die Wasseraufnahme gekoppelt. Hohe Nährstoffmengen im Boden sind bei geringer Wasserverfügbarkeit von den Pflanzen deshalb oft nicht aufnehmbar und potentiell austragsgefährdet.

Dem Wasserhaushalt des Bodens kommt demnach eine zentrale Rolle im Wirkungsgefüge zwischen Boden und Pflanzen zu (Harrach et al. 1987, Selige & Vorderbrügge 1991). Wenn in Zusammenhang mit pflanzlicher Versorgung von Bodenwasser die Rede ist, so ist damit die nutzbare Feldkapazität (nFK) gemeint. Erreichbar für die Pflanzen ist davon nur die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum (nFK_w) (Keil 1991). An der Schnittstelle zwischen Pflanze und Bodengüte ist sie eine zentrale bodenbedingte Regelgröße. Unterschiede in der nFK_w führen zu unterschiedlich starkem Pflanzenwachstum. Umgekehrt kann deshalb auch von unterschiedlicher Biomassenbildung auf Unterschiede in der nFK_w des Standortes geschlossen werden. Die nFK_w gibt damit den bodenkundlichen Rahmen der pflanzlichen Entwicklungsmöglichkeiten am Standort vor und der Pflanzenaufwuchs ist ein geeigneter Bioindikator für das pflanzenverfügbare Bodenwasser.

Da der Aufwuchs als photosynthetisch aktiver Teil der Pflanze die biologische Energie für die generativen und speichernden Organe liefert, ist er auch ein Maß, ein Indikator für den Ertrag. Als Konsequenz ist das standörtliche Ertragspotential entscheidend durch die nFK_w bestimmt. Die ökologische Bedeutung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum ist in der Tabelle 1 zusammengestellt. Der flächenhaften Erfassung der Aufwuchsleistung und der Speicherfunktion des Bodens für Wasser kommt somit eine zentrale Rolle bei der landwirtschaftlichen Standortbeurteilung zu.

Tabelle 1: Ökologische Bedeutung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFK_w)

	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

Zustandsbeschreibung von Pflanzenbeständen mittels Fernerkundung

Die Beurteilung des Pflanzenaufwuchses erfolgt üblicherweise über Meßparameter wie Biomasse, Wuchshöhe oder Blattflächenindex. Abbildung 1 zeigt, daß zwischen Biomasse und Spektralinformationen hochkorrelative Zusammenhänge festzustellen sind. Diese Beziehung, die hier am Beispiel der hessischen Untersuchungen vorgestellt wird, wurde mit ähnlichen Bestimmtheitsmaßen auch auf Flächen landwirtschaftlicher Rekultivierung von Braunkohlentagebauten im Rheinland (Selige & Harrach 1993) als auch bei mehrjährigen Untersuchungen im bayerischen Tertiärhügelland ermittelt (Selige et al. 1996).

Die anhand punktueller Messung der Biomasse und den Spektraldaten ermittelte Regressionsfunktion dient nun als Transferfunktion zur thematischen Eichung, um die Spektralinformationen als Biomasse zu klassifizieren. In Abbildung 6 ist das Ergebnis einer multivariaten Klassifizierung basierend auf Spektralbereichen des VIS, MIR und TIR dargestellt. Es konnten fünf quantitative Stufen der Biomassenbildung differenziert werden. Die Klassenbreite der Biomasse (Trockenmasse) betrug 20 dt. Das Intervall, innerhalb dessen eine Differenzierung möglich war, reichte von 90 bis 50 dt/ha. Die Unterschiede, die innerhalb des Schläges sichtbar sind, zeigen das kleinräumige Muster unterschiedlicher Prozeßabläufe im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze auf.

Mit der Biomassendifferenzierung konnte ein wichtiger Parameter zur funktionalen Standortbeurteilung bei hoher Flächenauflösung verfügbar gemacht werden, der sowohl für die Ertragsleistung aber auch die Nährstoffaufnahme und -verwertung von Bedeutung ist.

Da die Biomasse mit einem Aufwand erhoben werden muß, der bei großräumiger Anwendung nicht realisiert werden kann, wurde ein am Gießener Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung entwickeltes Verfahren, die sogenannte Aufwuchsbonitur, an die Erfordernisse zur Eichung von Spektraldaten angepaßt. Die Aufwuchsbonitur ist eine Schätzmethode, die den Pflanzenbestand anhand EC-Stadium, Volumendichte, Wuchshöhe und Blattausbildung beurteilt. Sie ist bei entsprechender Erfahrung schneller und leichter durchzuführen als die Bestimmung der Biomasse, steht mit dieser aber in enger Beziehung wie Abbildung 2 zeigt. Auch die Bonität korreliert mit den Spektraldaten des Flugzeugschenners und kann deshalb anstelle der Biomasse verwendet werden. In Abbildung 3 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Über die Bonität kann eine Beurteilung der Kulturpflanzenbestände mittels Fernerkundung also ebenfalls erfolgen.

Bioindikative Ableitung des pflanzenverfügbares Bodenwasser mit Fernerkundung

Da das pflanzenverfügbare Bodenwasser eine wichtige Stellung im Naturhaushalt einnimmt, ist die flächenhafte Erfassung der Standortbedingungen, die durch das pflanzenverfügbare Bodenwasser bestimmt werden, von entsprechender Bedeutung. In Abbildung 4 ist der Zusammenhang zwischen der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFK_w) und der Aufwuchsbonität dargestellt. Die Differenzierung des Aufwuchses konnte fast vollständig mit der unterschiedlichen Wasserversorgung erklärt werden.

Zur Klassifizierung der nFK_w mittels Fernerkundung wurden die Zusammenhänge zwischen Bonität und nFK_w sowie Spektralwert und Bonität kombiniert und eine zusammengesetzte multiple Transferfunktion gebildet.

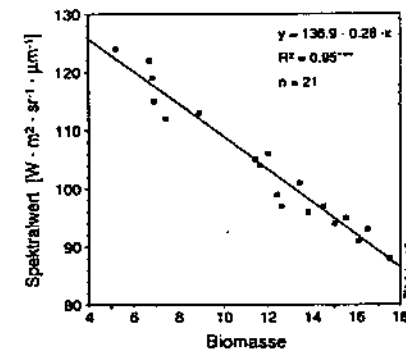


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen der Biomasse von Winterweizen und dem spektralen Erscheinungsbild

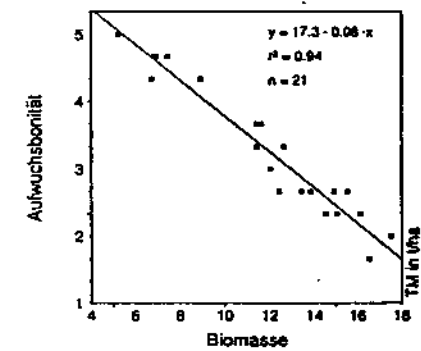


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen der Biomasse und der Aufwuchsbonität von Winterweizen

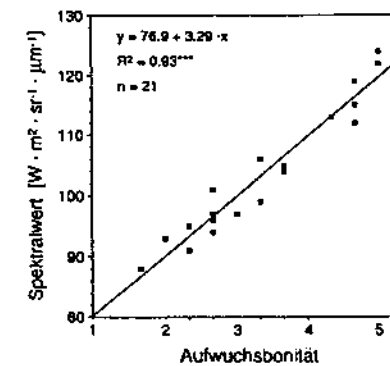
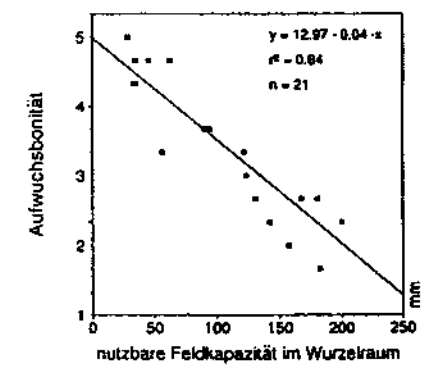


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen der Aufwuchsbonität von Winterweizen und dem spektralen Erscheinungsbild

Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFK_w) und der Aufwuchsbonität

Das Ergebnis der Klassifizierung ist in Abbildung 7 dargestellt. Auch hier gingen Spektralbereiche des VIS, NIR und TIR in die Berechnungen ein. Bei einem Intervall von 50 mm nFK_W konnten 4 Stufen des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers bei Winterweizenfeldern ausgewiesen werden.

Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse legen die Frage nahe, welche ökologisch-ökonomischen Folgen sich angesichts der ausgeprägten Feldheterogenitäten und der praktizierten schlagbezogenen Landnutzungssysteme ergeben. Dies soll am Beispiel des Stickstoffhaushaltes und der Ertragsbildung diskutiert werden.

Stickstoffaufnahme und Nitrataustragsgefährdung

In Tabelle 2 sind Bodenkennwerte und Daten zum Stickstoffhaushalt von 3 untersuchten Standorten des Schlages von Abbildung 8 und 9 dargestellt, die sich in ihren Eigenschaften und Kennwerten deutlich unterscheiden.

Tabelle 2: Kennwerte typischer Böden im hessischen Untersuchungsgebiet

	Rendzina	Pelosol-Braunerde	erod. Parabraunerde
max. Wurzelraum [cm]	60	110	120
Hauptwurzelraum [cm]	60	65	120
nFK _W [mm]	55	126	188
Trockenmasse [dt/ha]	74	113	138
Korntrag [dt/ha]	30	62	66
N-Entzug (Biomasse) [kg/ha]	79	143	176
N-Entzug (Korn) [kg/ha]	66	106	130
N-Düngung [kg/ha]	100	100	100
N-Bilanz (Biomasse) [kg/ha]	+21	-43	-76
N-Bilanz (Korn) [kg/ha]	+34	-6	-30

Standort A ist infolge geringer Durchwurzelbarkeit und Wasserspeicherfähigkeit wenig produktiv und erreicht nur knapp die Hälfte der Trockenmassenbildung und des Korntrages von Standort C. Dessen hohe Produktivität korrespondiert mit hoher physiologischer Gründigkeit und Wasserspeicherfähigkeit. Standort B nimmt eine mittlere Stellung hinsichtlich dieser Eigenschaften ein, entsprechend fällt seine Ertragsleistung aus. Aus Tabelle 2 ergeben sich auch die Folgen einheitlicher Bewirtschaftung heterogener Ackerschläge. Bilanziert man den mit dem Pflanzenwachstum verbundenen Stickstoffhaushalt, so ergeben sich bei einheitlicher Wirtschaftsweise (N-Düngung = 100 kg/ha) deutliche Unterschiede zwischen den Standorten. Da das Stroh auf dem Feld verblieb, verzeichnet die Bilanz für den Hohertragsstandort einen Bilanzunterschuss von 30 kg, während sich für den Grenzertragsstandort 30 kg Überschuss ergeben. Diese heterogenen Standortbedingungen haben zusammen mit der schlagbezogenen Bewirtschaftung ökonomische und ökologische Konsequenzen zur Folge:

1. Unter dem Primat der Ökonomie, die den Hohertragsstandort zur Richtschnur der Bewirtschaftung erhebt, werden auf ungünstigeren Standorten N-Überschüsse in Kauf genommen, die potentiell austragsgefährdet sind.

2. Unter dem Primat der Ökologie, der der Grenzertragsstandort als Maß der Bewirtschaftung dient, würde das Potential günstigerer Ackerstandorte nicht ausgeschöpft werden und ökonomische Verluste entstehen.
3. Daß auch eine Orientierung an Standorten mittlerer Ertragsleistung, trotz des nicht ausgeschöpften Potentials an Hohertragsstandorten, N-Austräge nicht völlig verhindern kann, zeigt sich im vorgestellten Beispiel deutlich am Standort A.

Durch einen Wechsel von schlagbezogener Wirtschaftsweise zur Teilschlagbewirtschaftung könnte dieser Konflikt nicht nur aufgelöst und ökologische Belastungen vermieden werden, sondern auch eine Steigerung der Effizienz eingesetzter Ressourcen in der Landwirtschaft erreicht werden.

Ertragsleistung

In den Untersuchungen wurden enge Korrelationen zwischen Pflanzenaufwuchs und Ertrag ermittelt. In Abbildung 5 sind solche Ergebnisse des bayerischen Untersuchungsgebietes dargestellt. Dieses Beispiel zeigt, daß mit der Erfassung der Biomassenbildung zu geeigneten Zeitpunkten eine Vorhersage der Ertragsdifferenzierung möglich ist.

Auf den Flächen wurde mittels DGPS-geführter Mährescher flächendifferenzierend geerntet. In Abbildung 9 sind die Ertragsdaten dargestellt. Die Ergebnisse demonstrieren deutlich wie unterschiedlich und standortabhängig die Effizienz der eingesetzten Produktionsmittel ist. So werden bei schlagbezogener Bewirtschaftung mit einheitlicher Düngung zwischen 20 dt/ha und 80 dt/ha geerntet. Geringste Erträge sind dabei an Standorte aus Tertiärsstraten in konvexen Oberhanglagen (ausstreichende Kiesschichten im östlichen Bereich des Schlages) geknüpft, während die höchsten Erträge an Kolluvien in konkaver Unterhanglage gebunden sind (Bereiche der nordöstlichen und nördlichen Schlaggrenze).

Ein Großteil der eingesetzten Düngemittel konnte auf den Kiesstandorten nicht verwertet werden. Es wurden N-Überschüsse bis zu 90 kg/ha auf diesen Grenzertragsstandorten gemessen, während auf den Kolluvien die applizierte N-Düngung weitgehend in Biomasse und Korntrag umgesetzt wurde (Wehrhan & Selige 1997). Die ausgeprägte Heterogenität der Bodeneigenschaften legt deshalb auch für diese Flächen eine teilschlagbezogene Bewirtschaftung nahe.

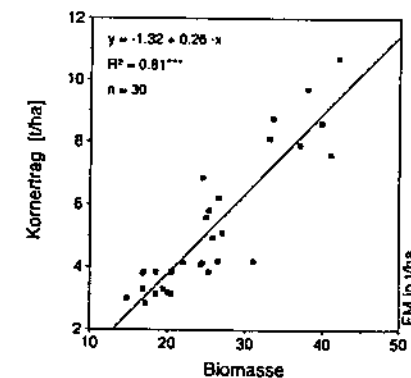


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Aufwuchsleistung und Korntrag bei Winterweizen

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, daß die Abgrenzung von Standorten aus Flugzeugscannerdaten über die Indikatorfunktionen des Pflanzenaufwuchses einen wichtigen Beitrag zur Charakterisierung funktionaler Wasserhaushaltssituationen und Ertragspotentialen innerhalb von Feldern leisten kann. Gegenüberstellungen der Ergebnisse aus Fernerkundung und flächenhaften Ertragsermittlungen zeigen eine hohe räumliche Übereinstimmung zwischen Ertragsmuster und spektralem Erscheinungsbild.

Für die Zukunft kann erwartet werden, daß die Technik des DGPS sich in der Landwirtschaft, insbesondere bei Großbetrieben und Maschinenringen, schnell verbreiten wird, um eine höhere Effizienz der Produktionsmittel zu erreichen. Dies wird gleichzeitig zu einer Reduzierung stofflicher Belastungen benachbarter Ökosystemkompartimente führen. Die landwirtschaftliche Standortkunde wird aufgefordert sein, die notwendige Datengrundlage zur Abgrenzung von Teilschlägen und zur Steuerung DGPS geführter Landmaschinen zu erarbeiten. Dafür sind auch die geeigneten methodischen Werkzeuge und Managementsysteme zu entwickeln.

Literatur

- [1] Auerswald, K. und M. Kainz (1990): Standortkundlicher Überblick über das Klostergut Scheyern. TU München-Weihenstephan, unveröffentlichtes Manuskript, 41 S.
- [2] Dumbeck, G. (1986): Bodenphysikalische und funktionelle Aspekte der Packungsdichte von Böden. Dissertation, Gießener Bodenkundliche Abhandlungen Bd. 3, 236 S.
- [3] Harrach, T. (1993): Grundsätze einer umweltverträglichen und naturschutzgerechten Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Standortverhältnisse. Scientific Conference on New Strategies for Sustainable Rural Development, 22.-25. March, Gödöllő, Hungary, unpublished.
- [4] Harrach, T. B. Keil and Th. Vorderbrügge (1987): The influence of soil structure on rooting, nutrient uptake and yield formation. Proceedings of 20th Colloq. of Int. Potash Inst., Bern, 303-320.
- [5] Harrach, T. und Th. Vorderbrügge (1991): Die Wurzelentwicklung von Kulturpflanzen in Beziehung zum Bodentyp und Bodengefüge. In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 2: Bodengefüge, Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 204, 69-82, Paul Parey Verlag.
- [6] Keil, B., (1991): Das Ertragspotential des Standortes als Funktion der Speicherkapazität des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser. Dissertation, Gießener Bodenkundl. Abhandlungen, Bd. 7, 245 S.
- [7] Rex, M. (1984): Der Einfluß der Durchwurzelbarkeit des Bodens auf den Ertrag und den Nährstoffentzug von Getreide. Dissertation, Gießener Bodenkundl. Abhandlungen, Bd. 1, 232 S.
- [8] Peter, M. (1997): Evaluierung eines Sanierungskonzeptes für ein nitratbelastetes Wasserschutzgebiet in Nordhessen. Dissertation, Boden und Landschaft, Band 16, Gießen
- [9] Selige, T. (1997) Flächenhafte Diagnose von Standorteigenschaften rekultivierter Böden mittels Bioindikation und digitaler flugzeuggestützter Fernerkundung, DLR-Forschungsbericht 97-40, 162 S.
- [10] Selige, Th. and Th. Vorderbrügge (1991): Roots and Yield as Indicators of Soil Structure. In: L. Kutschera, E. Hübl, E. Lichtenegger, H. Persson, M. Sobotnik [Eds.]: Root Ecology and its practical application, 3rd Symp. Int. Soc. of Root Res. (ISRR), Vienna, Sept. 2nd-6th, Klagenfurt: Verein f. Wurzelforsch., 121-124.

- [11] Selige T., A. Bartel, J. Raupenstrauch, M. Wehrhan und R. Lenz (1996): Fernerkundungsmethoden zur Charakterisierung von Standorteigenschaften und Wasserhaushalt. In: M. v. Lützw; J. Filser; M. Kainz und J. Pfadenhauer [Hrsg.] Jahresbericht 1995, FAM-Bericht 9, Neuherberg: GSF, 157-169.
- [12] Vorderbrügge, Th., (1989): Einfluß des Bodengefüges auf Durchwurzelung und Ertrag bei Getreide – Untersuchungen an rekultivierten Böden und einem langjährigen Bodenbearbeitungsversuch. Dissertation, Gießener Bodenkundl. Abhandlungen, Bd. 5
- [13] Wehrhan, M. und Selige, Th. (1997): Airborne Remote Sensing to Support Precision Farming. Proceeding of Int. Symp. Geosci. Rem. Sens. IGARSS97, Singapore. Seabrook, TX, USA: IEEE/GRSS-Press, Paper No.970532, in press.

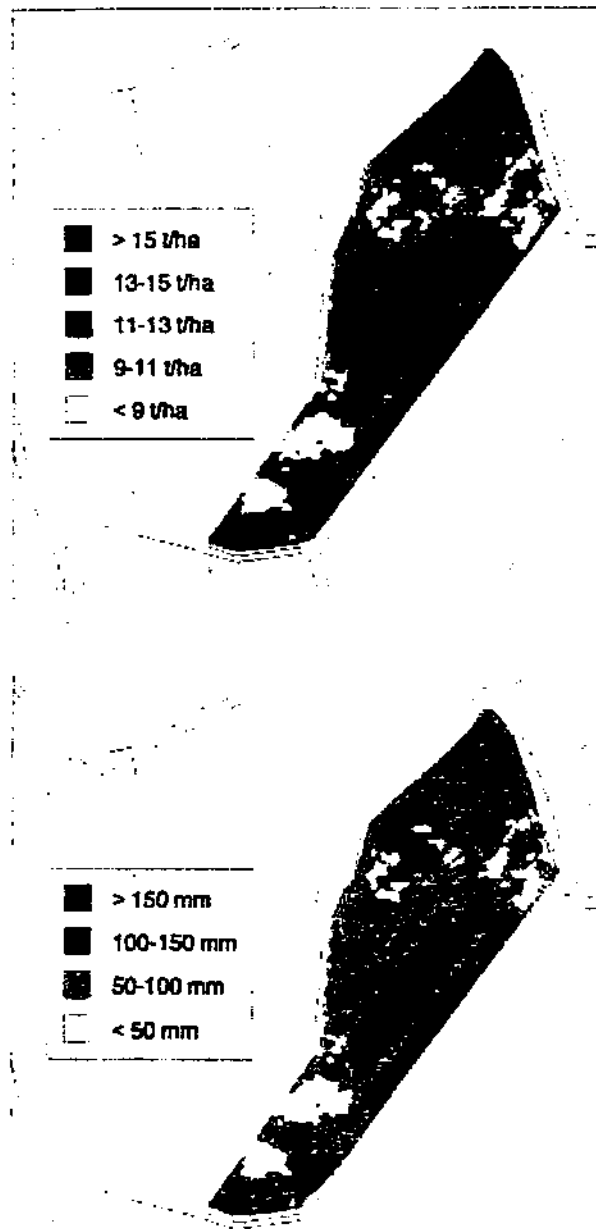


Abbildung 6:
Karte der klassifizierten Bio-
masse (WSG, Flurstück 2509,
Winterweizen)

Abbildung 7:
Karte der klassifizierten
 nFK_{wt} (WSG, Flurstück 2509,
Winterweizen)

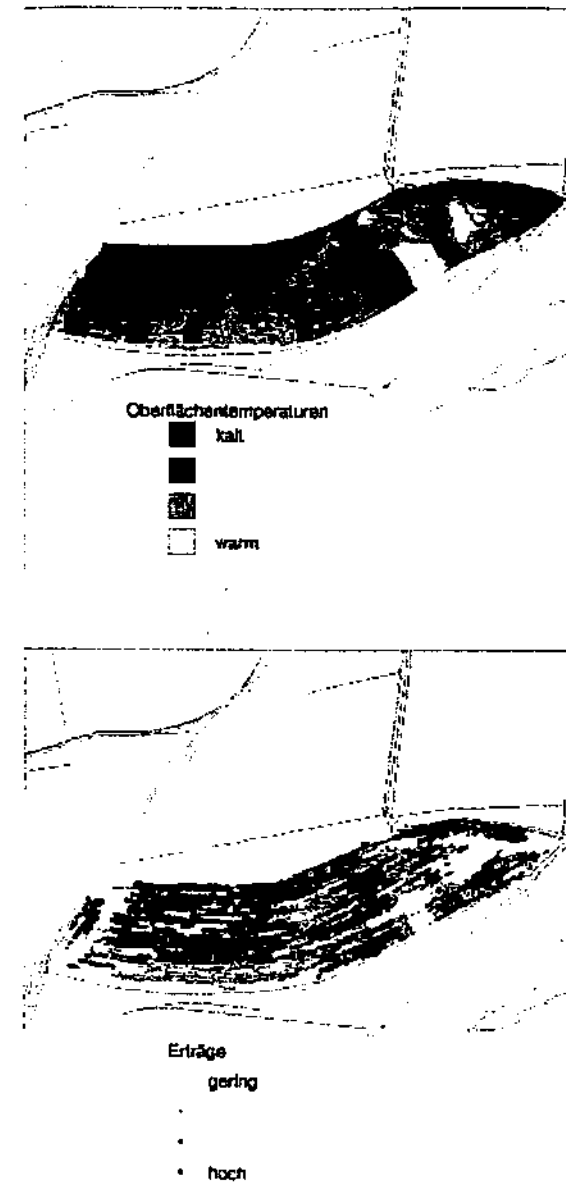


Abbildung 8:
Karte der Oberflächen-
temperaturen
(Nutzung: Winterweizen)

Abbildung 9:
Karte der flächendifferenzierten
Ertragsermittlungen mit DGPS-
ausgerüstetem Mähdrescher
und Durchflußwaage
(Winterweizen)