



5.4 Fernerkundungsgestützte Ableitung bodenbürtiger Ertragspotentiale für standortspezifische Bewirtschaftung (TP II-6a, Teil III)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. U. Schmidhalter
Bearbeiter: Dr. T. Selige

5.4.1 Zusammenfassung

Im Teilprojekt II-6a werden teilflächenspezifische Bodeneigenschaften und Standortpotentiale mittels Geophysik, dynamischer Modellierung und Fernerkundung bestimmt (siehe auch Kapitel 2.4 und 3.5). Im Arbeitsbereich „Fernerkundungsgestützte Ableitung bodenbürtiger Ertragspotentiale für standortspezifische Bewirtschaftung“ werden Methoden der multispektralen Fernerkundung zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Standorteigenschaften und Ertragspotentialen eingesetzt. Mittels bio- und geophysikalischer Methoden werden aus den Spektraldaten Standortpotentiale abgeleitet. Messungen des Wasserhaushalts dienen der Beschreibung des Ertragspotentials und der Ertragserwartung in Abhängigkeit variierender Jahreswitterungen. Die Arbeiten und Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Aufwuchsbonituren zur Zustandsbeschreibung der Pflanzenbestände, zur Quantifizierung von Stresssymptomen und zur Ertragsabschätzung wurden erfolgreich weiterentwickelt und erste Validierungen durchgeführt. 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 der Kapazität für pflanzenverfügbares Bodenwasser für die Effizienz der Düngung im Untersuchungsgebiet und die Möglichkeit zu einer ökologisch verträglichen Nutzungsweise auf.

Summary

Project TP II-6a is investigating site-specific soil properties and site potentials using geoelectrical mapping, dynamic modelling and remote sensing (see also chapter 2.4 and 3.5). The methodology „crop stand valuation“ to describe crop stand conditions and to forecast yield differences has been improved. The results have been validated for the moment. The investigation for yield forecasting shows the opportunity to forecast the yield differences precisely and at early stages when being based on multi-spectral remote sensing. The soil-related yield potential has been validated using yield measures. The balance of site-specific nutrient supply as well as the ecologically and economically adapted intensity of management underlines the central role of the plant available water capacity for the fertilizer efficiency and for ecologically sustainable land use planning

5.4.2 Einleitung und Problemstellung

Wie im Arbeitsbereich „Multispektrale Fernerkundung von Bodeneigenschaften und Aufwuchszuständen“ (siehe Kapitel 3.5) gezeigt werden konnte, beruhen die Unterschiede im Aufwuchs vor allem auf Unterschieden in der Kapazität für pflanzenverfügbares Bodenwasser. Dieses stellt für den überwiegenden Anteil der ackerbaulich genutzten Gebiete in Deutschland die limitierende Standorteigenschaft dar. Lediglich in Bereichen der Mittelgebirgslagen und im Alpenvorland sind im langjährigen Mittel ausgeglichene Wasserbilanzen während der Hauptvegetationszeit zu verzeichnen.

Die Frage ist, ob die aus multispektraler Fernerkundung abgeleitete limitierende Standorteigenschaft das bodenbürtige Ertragspotential bestimmt. Dies wurde validiert.

Wenn das so abgeleitete bodenbürtige Ertragspotential eine wichtige und richtige Information über das standortspezifische Leistungsvermögen darstellt, so muss es sich auch in der tatsächlichen Ertragsleistung niederschlagen. Mittels Ernteschnitten wurde dies untersucht und validiert.

Wenn das fernerkundungsbasierte Ertragspotential die relative Differenzierung der Ertragsleistung vorwegnimmt, so kann es auch als Grundlage zur Ertragsvorhersage geeignet sein. Dies wurde validiert.

5.4.3 Material und Methoden

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf den bereits in Kapitel 3.5.3 beschriebenen Daten und Methoden.

5.4.4 Ergebnisse und Diskussion

5.4.4.1 Ableitung des bodenbürtigen Ertragspotentials

Die hohen Bestimmtheitsmaße des pflanzenverfügbaren Bodenwassers zum Aufwuchs und zur Ertragsleistung zeigen, dass die Eigenschaft 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 der Kapazität des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser gleichzusetzen. Die Gegenüberstellung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum mit der tatsächlichen Ertragsleistung unterstreicht dieses Ergebnis (Abb. 5.4-1). Die Abweichungen ergeben sich aus dem Beitrag des kapillaren Aufstiegs aus dem Grundwasser und des Interflow, also lateralem Zuschusswasser. Die in Abbildung 5.4-1 vom allgemeinen Trend abweichenden Standorte zeigen dies deutlich. Diese Einflussfaktoren werden im hier vorgestellten, methodischen Ansatz (siehe hierzu Kapitel 3.5.4.5) in ihrer Effektivität berücksichtigt. Dies ermöglicht eine genauere Ableitung der Bodenproduktivität über die Erfassung des Aufwuchszustandes als dies durch die bodenkundliche Ansprache von Bohrkernen möglich wäre.

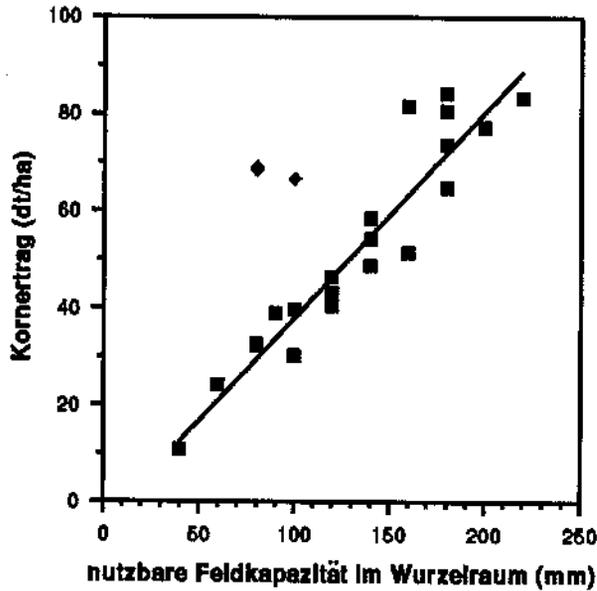


Abb. 5.4-1: Zusammenhang zwischen der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWt) und dem Kornertrag bei Winterweizen

Fig. 5.4-1: Relation of plant available field capacity in the root zone (AWCrz) and grain yield for winter wheat

5.4.4.2 Ertragsvorhersage

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

Die Vorhersage von Ertragsleistungen wird um so exakter, je kurzfristiger sie zum Erntetermin erfolgt. Sie ist jedoch um so 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 dazu betrachteten Fruchtarten waren 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. 5.4-2).

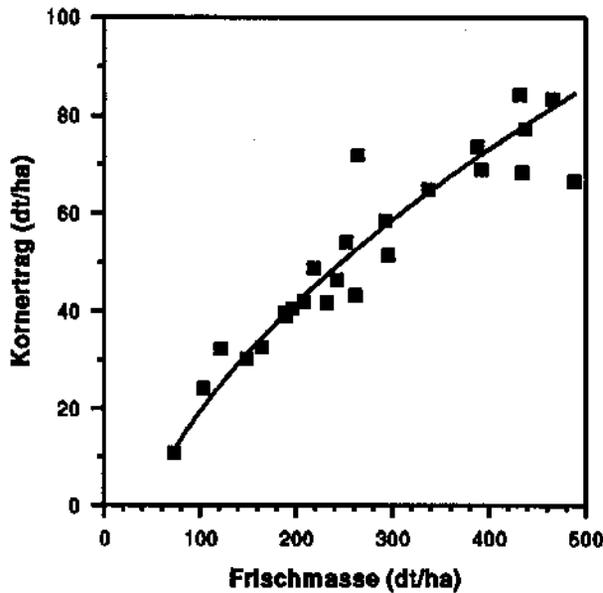


Abb. 5.4-2: Zusammenhang zwischen der Biomasse und dem Kornertrag bei Winterweizen

Fig. 5.4-2: Relation of fresh biomass and grain yield for winter wheat

Das Bestimmtheitsmaß zwischen Biomasse bei EC 77 und dem Kornertrag betrug $r^2 = 0.96^{***}$. Dieses Ergebnis unterstreicht, dass der Aufwuchszustand zur Prognose von relativen Kornerträgen und die Erfassung ihres räumlichen Musters innerhalb der Felder geeignet ist.

5.4.4.3 Bilanzierung des standortspezifischen Düngungsbedarfs

Ausgehend von der Karte des pflanzenverfügbaren Wassers wurde die standortspezifische Effizienz der Stickstoffdüngung untersucht. In Tabelle 5.4-1 sind die Daten von drei repräsentativen Standorten zusammengestellt.

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 Bodenkarten der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherungsfähigkeit

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.

Tab. 5.4-1: Stickstoffbilanzierung für drei repräsentative Böden des Schlags 141, Finkenherd in Wulfen

Tab. 5.4-1: Nitrogen balance for three representative soils at "Finkenherd" field, Wulfen farm

	Sand	Sandiger Lehm	Lehmiger Schluff
NFKWt (mm)	40	140	220
Kornertrag (t/ha)	1.1	4.9	8.3
Stickstoffaufnahme ins Korn (kg/ha)	35	125	192
Stickstoffdüngung (kg/ha)	180	180	180
Stickstoffbilanz (kg/ha)	+ 145	+ 55	- 12
Effizienz der Stickstoffdüngung (%)	19	69	106

In Abbildung 5.4-3 ist der Zusammenhang zwischen der bis zur Ernte gebildeten Gesamt-Trockenmasse und der Stickstoffaufnahme dargestellt. Abbildung 5.4-4 zeigt den Zusammenhang zwischen Kornertrag und Stickstoffaufnahme ins Korn. Zwischen 70 und 260 kg/ha liegt die Stickstoffaufnahme durch den Pflanzenaufwuchs. 40 bis 200 kg/ha werden den Standorten durch die Kornerträge entzogen. Die enormen Unterschiede der Stickstoffentzüge aus dem Boden zeigen deutlich die Notwendigkeit einer standortangepassten Stickstoffdüngung im Untersuchungsgebiet.

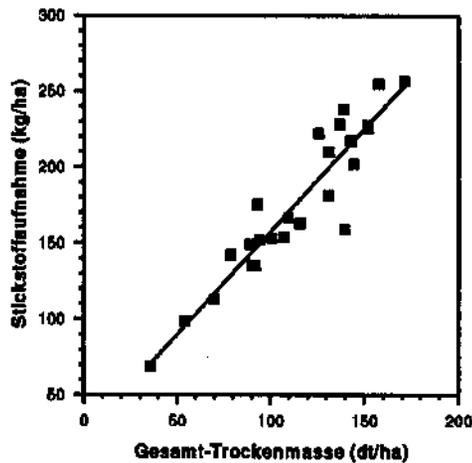


Abb. 5.4-3: Zusammenhang zwischen der Gesamt-Trockenmasse und der Stickstoffaufnahme des Pflanzenaufwuchses von Winterweizen

Fig. 5.4-3: Relation of total dry matter and nitrogen uptake of crop stand for winter wheat

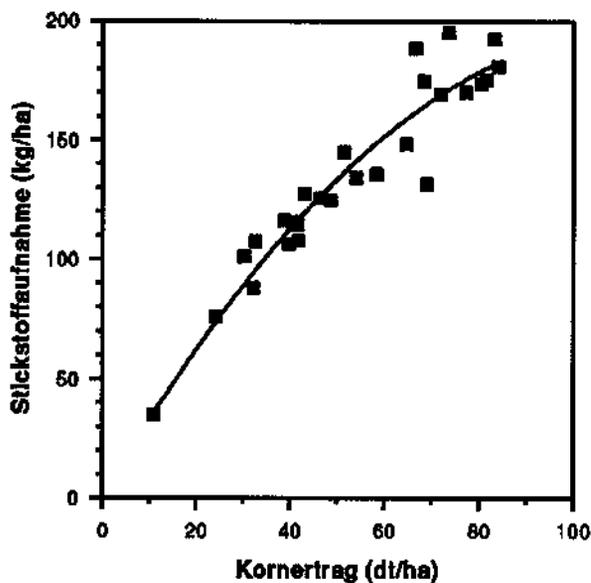


Abb. 5.4-4: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag und der Stickstoffaufnahme ins Korn bei Winterweizen

Fig. 5.4-4: Relation of grain yield and grain nitrogen uptake for winter wheat

5.4.4.4 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. 5.4-2; 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. 5.4-2: Ökologische Bedeutung der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (nFK_w)

Tab. 5.4-2: *Ecological relevance of plant available field capacity in the root zone (AWCrz)*

	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

5.4.5 Ausblick

Ziel der Aufgabe „Fernerkundungsgestützte Ableitung bodenbürtiger Ertragspotentiale für standortspezifische Bewirtschaftung“ ist es, Standortcharakteristika von Teilflächen heterogener Schläge aus fernerkundlichen Informationen abzuleiten und daraus Ertragspotentiale der einzelnen Teilflächen zu ermitteln. In einem abgestuften Vorgehen soll dabei ein detailliertes Bild der teilflächenspezifischen Standorteigenschaften abgeleitet werden.

Schwerpunkt der weiteren Aufgaben wird die *Validierung der fernerkundlich abgeleiteten Standortinformationen* sein. Mit den vorliegenden Daten wird es möglich sein, die Bedeutung mehrjähriger Informationen gezielt einzuschätzen. Ein weiterer Aufgabenschwerpunkt wird sich im Vergleich verschiedener räumlicher Datenquellen ergeben. Die dann vorliegenden detaillierten Informationen der Standorteigenschaften (bspw. nutzbare Feldkapazität) und der Ertragspotentiale sollen die Basis von Managementstrategien darstellen. Die Arbeiten werden fortgesetzt und neben Winterweizen auf Zuckerrüben und Wintergerste ausgedehnt.

Aufwuchsbonituren und Zustandskarten: Als Instrument der Wirkungskontrolle von standortspezifischen Managementstrategien werden Zustandskarten vor allem zur Biomasseentwicklung und zur Stickstoffaufnahme prozessiert. Hierzu wird auf Korrelationen von Spektraldaten mit Referenzdaten aus den Messkampagnen zurückgegriffen und als metrische (quantitative) Zustandskarten ausgeführt. Diese dienen der Validierung der bisherigen Modulanwen-

dungen. 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.

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.

5.4.6 Literatur

- Bobert, J.; U. Schmidhalter (2001): Influence of rain distribution on yield and management practices for a winter wheat cultivation. In: Horst et al. (Eds.): Plant Nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems. Kluwer Academic Publishers, 950-951.
- 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. 3. 1993, Gödöllő, Ungarn
- IBSNAT (1999): *DSSAT35*, A Decision Support System for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii
- Selige, T.; U. Schmidhalter (2001): Characterizing soils for plant available water capacity and yield potential using airborne remote sensing. In: Tupper, G. (Ed.) Proceedings of the Australian Geospatial Information and Agriculture Conference incorporating Precision Agriculture in Australasia 5th Annual Symposium, NSW Agriculture, Orange, NSW, Australia, 308-314
- Selige, T.; U. Schmidhalter (2001): Soil Resource Mapping for Precision Farming Using Remote Sensing. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol. VII, IEEE Publication, Piscataway, N.Y., USA, 3138-3140
- Selige, T.; A. Werner T. Muhr; U. Schmidhalter (2001): Interdisciplinary research for precision agriculture – preagro: the German joint project for an integrated management system. In: Tupper, G. (Ed.) Proceedings of the Australian Geospatial Information and Agriculture Conference incorporating Precision Agriculture in Australasia 5th Annual Symposium, NSW Agriculture, Orange, NSW, Australia, 507-527