

3.5 Multispektrale Fernerkundung von Bodeneigenschaften und Aufwuchszuständen (TP II-6a, Teil II)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. U. Schmidhalter

Bearbeiter: Dr. T. Selige

3.5.1 Zusammenfassung

Im Teilprojekt II-6a werden teilflächenspezifische Bodeneigenschaften und Standortpotentiale mittels Geophysik, dynamischer Modellierung und Fernerkundung bestimmt (siehe auch Kapitel 2.4 und 5.4). Im Arbeitsbereich „Multispektrale Fernerkundung von Bodeneigenschaften und Aufwuchszuständen“ werden zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Standorteigenschaften und Ertragspotentialen flugzeuggestützte Multi- und Hyperspektralsensoren eingesetzt und mittels bio- und geophysikalischer Methoden Bodeneigenschaften abgeleitet. 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 standortspezifischen Erfassung von Oberbodeneigenschaften mit hyperspektraler Fernerkundung für die differenzierte 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 Erfassung 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 wurde auf eine breite Datenbasis gestellt.

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 pre-processing chain of multi-spectral data towards geometrically and radiometrically corrected maps is now automated and operational. The processing is validated. The work package has been finalized. First results are presented to differentiate topsoil properties at sub-field level. It was possible to quantify clay content and organic carbon content using hyper-spectral data. These maps are suitable to be used as base for site-specific tillage, seeding and fertilizing. The methodology of crop stand valuation to describe crop stand conditions, stress and yield formation makes progress and is validated for the moment. Vegetation indices are analysed and assessed for the usage of crop stand differentiation. The high potential of the methodology to derive the plan available water capacity via multi-spectral data and bio-indicative modelling has been presented. The result is validated. First robustness tests are in progress.

3.5.2 Einleitung und Problemstellung

Entscheidungssysteme für eine standortspezifische Maßnahmengestaltung erfordern detaillierte Informationen über die Ursachen und Folgen schlaginterner Variabilität und deren räumliche Verteilung. Die Variabilität und das räumliche Muster des Pflanzenwachstums innerhalb von Feldern hängen maßgeblich von der Variabilität und dem räumlichen Muster der Bodeneigenschaften ab. Der möglichst präzisen Kenntnis über die räumlich differenzierten Bodenfunktionen kommt eine Schlüsselrolle zu, um Bewirtschaftungsmaßnahmen präzise – also standortangepasst – planen und durchführen zu können. Es ist deshalb eine zentrale Aufgabe, Methoden zu entwickeln, die die Anforderungen an hohe räumliche Auflösung und präzise Erfassung funktionaler Bodeneigenschaften erfüllen können.

In diesem Aufgabenbereich wurden flugzeuggestützte, multispektrale Fernerkundungsdaten eingesetzt, um die digitale Kartierung von Bodeneigenschaften mit hoher räumlicher Auflösung und zeitlicher Flexibilität zu ermöglichen. Folgende Ziele werden mit der Anwendung der multispektralen Fernerkundung verfolgt:

- Validierung und Operationalisierung von Verfahrensschritten zum *Preprocessing* der Fernerkundungsdaten (Sensorkalibrierung, Reflexionskalibrierung, Geokodierung und Atmosphärenkorrektur etc.).
- Entwicklung von *Indikatormodellen* des Systems Boden-Pflanze-Sensor zur algorithmischen Ableitung von Bodeneigenschaften und Standortcharakteristika mittels bioindikativer Verfahren und Transferfunktionen.
- Bereitstellung von *Standortkarten* zu Bodenfunktionen und Standortcharakteristika (pflanzenverfügbares Bodenwasser, nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum, bodenbürtiges Ertragspotential, pot. Grundwasseranschluss, Staunässe, Humusgehalt des Oberbodens etc.).
- Beurteilung der Relevanz fernerkundlich erfasster Zustände der Bodenoberfläche und der Pflanzenbestände für die *Prognose* der Ertragsbildung durch Vergleich mit Ertragskarten und Einbeziehung von Bewirtschaftungsinformationen.
- Untersuchungen zur Ableitung eines Anforderungskataloges an einen Minimaldatensatz zur aufwandsoptimierten Erfassung von Referenzdaten für die thematische Eichung von Fernerkundungsdaten.

3.5.3 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf den Betrieben Queis, Baasdorf, Wulfen und Aken vorgenommen. Die Befliegungen wurden mit dem Multispektralsensor Daedalus AADS 1268 ATM durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ausgeführt. Der Daedalus-Sensor zeichnet aus dem Wellenlängenspektrum von 480-14.000 nm diskontinuierlich 12 Spektralbereiche auf. Die Daten wurden mit einer räumlichen Auflösung von 5 m akquiriert. Die spektralen Bilddaten wurden mit den DGPS-Daten des Flugleitsystems und mit den Fluglagedaten von Laser-Gyroskopen über Zeitkoordinaten datentechnisch zusammengeführt und dann soweit nötig atmosphärisch korrigiert. Anschließend erfolgte die Prozessierung der Bilddaten zu Spektralkarten im geographischen Koordinatensystem nach Gauss-Krüger mittels eines neuen Geokodierungsverfahrens, radiometrischer Randausgleichsverfahren und Matching-Routinen unter Berücksichtigung des digitalen Geländemodells.

Referenzdaten: Befliegungsbegleitend wurden Referenzdaten an repräsentativen Standorten der untersuchten 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.

3.5.4 Ergebnisse und Diskussion

3.5.4.1 Preprocessing

Das erstmals im *pre agro*- Projekt eingesetzte Verfahren zur vollautomatischen Geokodierung von Flugzeugscannerdaten auf der Basis von Fluglagedaten, Positionsdaten des Flugleitsystems und des digitalen Geländemodells wurde abschließend validiert. Mit diesem am DLR-Institut für Methoden der Fernerkundung konzipierten und umgesetzten Verfahren konnte das Preprocessing von Flugzeugscannerdaten soweit beschleunigt werden, dass die Bereitstellung von geometrisch und radiometrisch kalibrierten und rektifizierten Daten bereits am Befliegungstag technisch möglich ist. Verbliebene Störeffekte sind nur noch von nachrangiger Bedeutung. Diese Effekte sind auf die für die Zusammenführung von parallelen Flugstreifen zur Verfügung stehenden radiometrischen Randausgleichsfunktionen der Matching-Routinen zurückzuführen. Weitere Effekte sind in der bidirektionalen Reflexionsverteilungsfunktion (BRDF) der verschiedenen Vegetationsoberflächen begründet.

3.5.4.2 Fernerkundliche Erfassung von Oberbodeneigenschaften

Oberböden zeigen innerhalb von Feldern oft eine hohe Variabilität beispielsweise bei Feldaufgang, Stickstoffmineralisierung, Wasserinfiltration und Erosivität. Kenntnisse über die Eigenschaften der Oberböden und deren räumliches Verteilungsmuster sind wichtig für die standortdifferenzierte Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Aussaat und Düngung. Eigenschaften wie Aggregation, Aggregatstabilität, Erosivität, Wärme- und Wasserhaushalt werden durch die Bodenart, den Humusgehalt und seine Qualität beeinflusst. Mit hyperspektralen Fernerkundungssensoren können diese Unterschiede flächendifferenziert erfasst und Basiskarten zur standortdifferenzierten Bodenbearbeitung, Aussaat und Düngung geliefert werden. Erste spektralanalytische Untersuchungen ergaben eine hohe Abbildbarkeit von Humusunterschieden und Mineralausstattung von Oberböden. Erste Ergebnisse dieser Voruntersuchungen an Oberböden von Feldern des Betriebes Wulfen zeigen große Unterschiede im spektralen Erscheinungsbild dieser Bodenschicht.

Als wesentlicher Faktor für die Unterschiede im Bereich kurzweiliger Strahlung wurde der Humus identifiziert. Abbildung 3.5-1 zeigt exemplarisch die Auswirkung des C_{org} -Gehaltes auf die Reflexion im Wellenlängenbereich um ca. 344 nm. Die hohen Streuungen deuten darauf hin, 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. 3.5-2). Das Bestimmtheitsmaß beträgt $r^2 = 0,78^{***}$: Gleichzeitig korreliert dieser Wellenlängenbereich mit der Ausstattung an Eisenoxiden ($r^2 = 0,72^{***}$). Beide Bodenparameter sind hoch korreliert ($r^2 = 0,94^{***}$). 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.

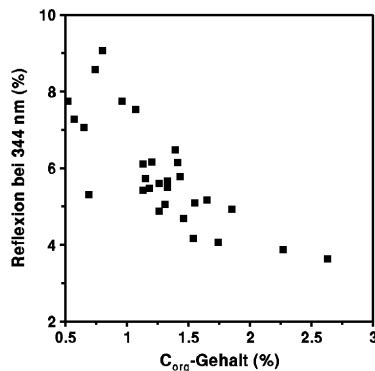


Abb. 3.5-1: Zusammenhang zwischen dem organischen Kohlenstoffgehalt (C_{org}) der Oberböden und der Reflexion bei ca. 344 nm

Fig.3.5-1: Relation of organic carbon content and reflection at 244 nm

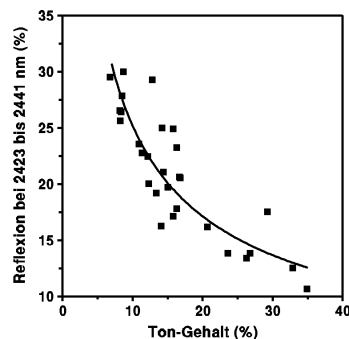


Abb.: 3.5-2: Zusammenhang zwischen dem Ton-Gehalt der Oberböden und der Reflexion bei 2423-2441 nm

Fig.3.5-2: Relation of clay content and reflection at 2423-2441 nm

3.5.4.3 Aufwuchsbonituren zur Bestandesbeurteilung, Stressdiagnose und Ertragsabschätzung

Zur Eichung von Spektraldaten sind Referenzdaten unerlässlich. Diese können durch Messungen 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 hohe Probenumfänge. Durch Referenzmessungen kann der Nachteil der Subjektivität der Schätzer ausgeglichen werden.

Für die Beurteilung quantitativer und qualitativer Unterschiede von Pflanzenbeständen wurden die Aufwuchsbonituren zu vier Anwendungszwecken entwickelt. (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 erektophilen Phänotypen. Nachfolgend werden einige erste exemplarische Validierungsergebnisse dargestellt.

In Abbildung 3.5-3 sind fünf Aufwuchsbonitäten den Biomassebestimmungen auf fünf Winterweizenfeldern mit 4 Sorten auf dem Betrieb Wulfen gegenübergestellt. In Abbildung 3.5-4 ist der Zusammenhang zwischen Blattwasserpotential und der Aufwuchsbonitur während einer Trockenphase im Mai 2000 dargestellt. Die Untersuchungen erfolgten auf einem Winterweizenschlag des Betriebes Wulfen.

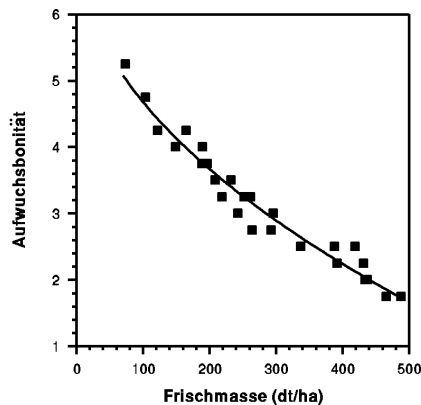


Abb. 3.5-3: Zusammenhang zwischen Biomasse und Aufwuchsbonität bei Winterweizen

Fig. 3.5-3: Relation of fresh biomass and crop stand valuation for winter wheat

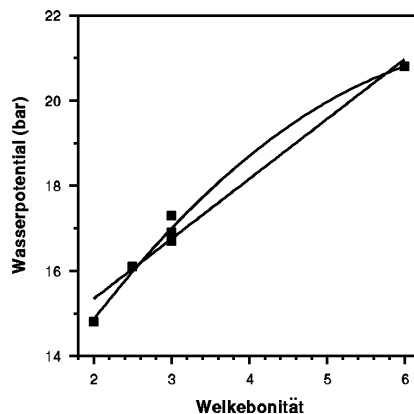


Abb. 3.5-4: Zusammenhang zwischen Wasserpotential und Welkebonität bei Winterweizen

Fig. 3.5-4: Relation of water potential and crop stand wilt valuation for winter wheat

In Abbildung 3.5-5 ist die Beziehung zwischen Kornertrag und Bonität auf fünf Winterweizenfeldern mit vier Sorten des Betriebes Wulfen dargestellt.

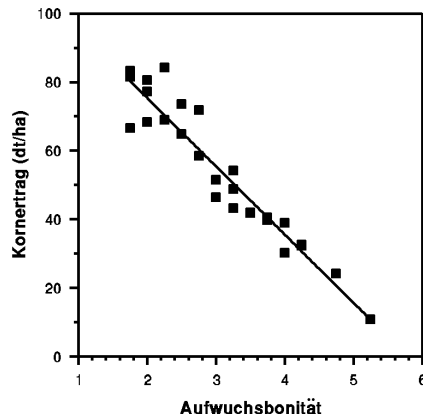


Abb. 3.5-5: Zusammenhang zwischen dem Kornertrag und der Aufwuchsbonität bei Winterweizen

Fig. 3.5-5: Relation of grain yield and crop stand valuation for winter wheat

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.

3.5.4.4 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 dienen 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 3.5-6 dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt $r^2 = 0.89^{***}$. Durch die Nicht-Linearität des Zusammenhangs 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 dt/ha). 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 ein ähnliches Ergebnis zeigten. Alle drei Indizes sind mit steigender Biomasse zunehmend ungeeigneter, um Bestände und Standorte zu differenzieren.

Wesentlich bessere Ergebnisse lassen sich bisher über die Differenzierung der Oberflächentemperatur erzielen, wie Abbildung 3.5-7 verdeutlicht. Das Bestimmtheitsmaß des linearen Zusammenhangs beträgt $r^2 = 0.90^{***}$. Die Linearität des Zusammenhangs erlaubt es, über die gesamte Bandbreite eine Differenzierung der Biomassen zu realisieren.

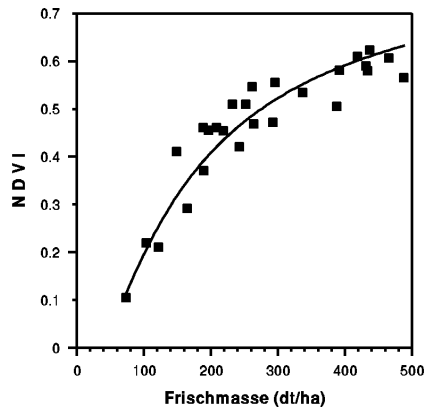


Abb. 3.5-6: Zusammenhang zwischen dem „Normalized Differential Vegetation Index“ (NDVI) und der Biomasse bei Winterweizen

Fig. 3.5-6: Relation of Normalized Differential Vegetation Index and fresh biomass for winter wheat

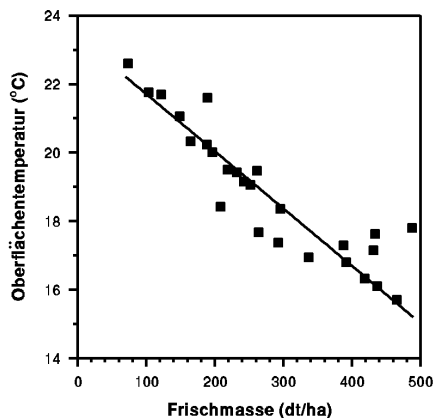


Abb. 3.5-7: Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur und der Biomasse bei Winterweizen

Fig. 3.5-7: Relation of surface temperature and fresh biomass for winter wheat

3.5.4.5 Bioindikative Ableitung des Bodenwasserspeichers mittels Fernerkundung

Will man Bodeneigenschaften mittels Fernerkundung detektieren, so muss man berücksichtigen, dass von der Bodenoberfläche nur selten Rückschlüsse auf Eigenschaften des Bodenprofils gezogen werden können. Auch sind Böden zumeist durch Pflanzen bedeckt. Da

Pflanzen in ihrem Wachstum aber auf Bodeneigenschaften reagieren, können sie als Bioindikator dafür genutzt werden.

Wie bereits gezeigt, sind Biomasse und Aufwuchsbonität 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. 3.5-8) und der Aufwuchsbonität (Abb. 3.5-9).

Um die standörtliche Produktivität zu quantifizieren, ist der Einfluss von Grundwasser und lateralem Zuschusswasser aber zu berücksichtigen. Die in den Abbildungen 3.5-8 und 3.5-9 vom allgemeinen Trend abweichenden, durch Rauten gekennzeichneten Standorte zeigen dies deutlich. Durch die Reaktion des Pflanzenbestandes auf das akkumulative standörtliche Wasserdargebot (Kapazität des pflanzenverfügbaren Bodenwassers) werden diese Einflussfaktoren 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.

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. 3.5-8) zum Zeitpunkt der beginnenden Abreife des Aufwuchses (ca. EC 77).

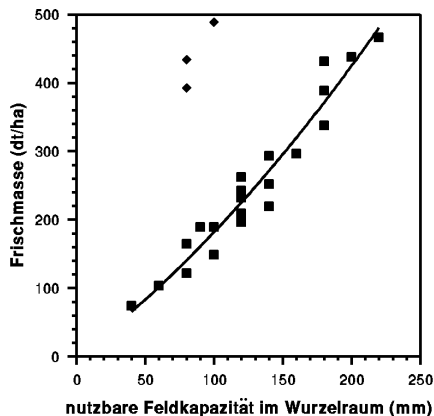


Abb. 3.5-8: Zusammenhang zwischen nutzbarer Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWt) und Biomasse bei Winterweizen

Fig. 3.5-8: Relation of plant available water capacity of the root zone and fresh biomass for winter wheat

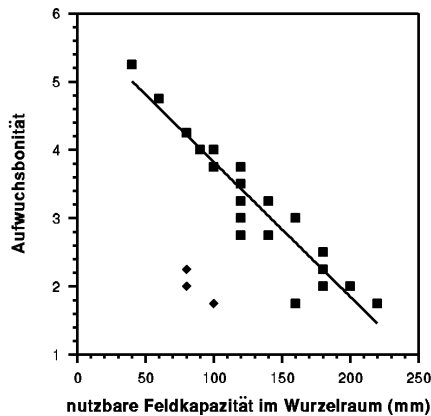


Abb. 3.5-9: Zusammenhang zwischen nutzbarer Feldkapazität im Wurzelraum (nFKWt) und Aufwuchsbontität bei Winterweizen

Fig. 3.5-9: Relation of plant available water capacity of the root zone and crop stand valuation for winter wheat

Da die thermalen Eigenschaften der Bestandesoberfläche die geeignetste Beziehung zum Aufwuchszustand aufwiesen und der Aufwuchszustand am deutlichsten mit der Kapazität für pflanzenverfügbares Bodenwasser korreliert, wurde über diese Zusammenhänge die Transferfunktion zur räumlichen Ableitung der Wasserverfügbarkeit gebildet. In Abbildung 3.5-10 ist das Ergebnis der aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Karte der Kapazität des pflanzenverfügbaren Bodenwassers für den Schlag 141 des Betriebes Wulfen dargestellt. Klassenbreiten von 50 mm pflanzenverfügbarer Bodenwasserkapazität konnten signifikant abgegrenzt werden.

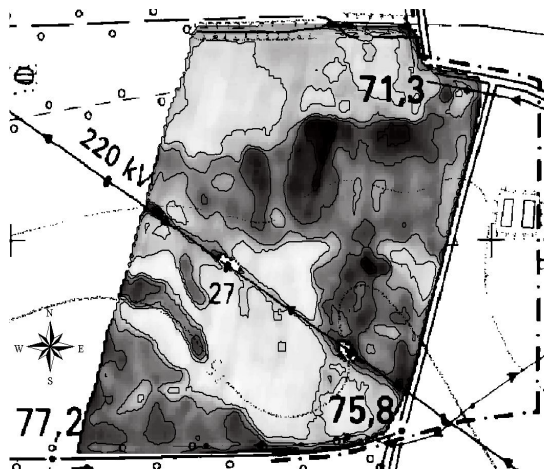


Abb. 3.5-10: Karte der Kapazität des pflanzenverfügbaren Bodenwassers für den Schlag 141 des Betriebes Wulfen

Fig. 3.5-10: Map of Plant Available Water Capacity of the "Finkenherd" field, Wulfen farm

3.5.5 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 dabei ein detailliertes Bild der teilflächenspezifischen Standorteigenschaften abgeleitet werden.

Schwerpunkt der weiteren Aufgaben wird die *Validierung der fernerkundlich abgeleiteten Standortinformationen* sein. Differenzierte Karten der Standorteigenschaften und Ertragspotentialkarten liegen vor. Mit den vorliegenden Daten wird es möglich sein, die Bedeutung mehrjähriger Informationen gezielt einzuschätzen.

Ein weiterer Aufgabenschwerpunkt wird im Vergleich verschiedener räumlicher Datenquellen liegen. So sind erste Kreuzvalidierungen mit ECa-Daten und Ertragsdaten bereits durchgeführt worden (siehe auch Kapitel 2.4.5.5). Die dann vorliegenden detaillierten Informationen der Standorteigenschaften und 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 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 Modulanwendungen. Hier sind insbesondere Bilanzierungen der standortspezifischen Ressourcenaufwendungen zu nennen (siehe auch Kapitel 5.4.4.3 und 5.4.4.4). 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.

Ertragsprognose: Die Analyse der Möglichkeiten zur Vorhersage von Ertragsunterschieden mittels multispektraler Fernerkundung (siehe auch Kapitel 5.4.4.2) werden fortgeführt. Neben Winterweizen werden auch Zuckerrüben und Wintergerste in die Arbeiten einbezogen.

3.5.6 Literatur

- 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
- Selige, T.; F. Ruthenkolk; U. Schmidhalter (2001): Geo-Physical Properties of Topsoils Retrieved from Field-Spectroscopic Data. Proceedings of the International Workshop of Spectroscopy Applications in Precision Farming, Weihenstephan, Germany, p. 78-80

- 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, p. 308-314
- Selige, T.; U. Schmidhalter (2001): Remote sensing of soil properties to support site specific farming. In: Horst, W. J. et al. (Eds.) Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p. 878-879
- Selige, T.; U. Schmidhalter (2001): Site specific soil resource mapping using remote sensing. In: Grenier, G.; S. Blackmore (Eds.): Third European Conference on Precision Agriculture Proceedings, Montpellier, France, p. 307-312
- Selige, T.; U. Schmidhalter (2001): Soil Resource Mapping for Precision Farming Using Remote Sensing. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE Publication, Piscataway, N.Y., USA, in press
- Selige, T.; A. Werner, T. Muhr; U. Schmidhalter (2001): Interdisciplinary research for precision agriculture – *preagro*: the German joint project for an integrated management system. In: Tupper, G. (Ed.) Proceedings of the Australian Geospatial Information and Agriculture Conference incorporating Precision Agriculture in Australasia 5th Annual Symposium, NSW Agriculture, Orange, NSW, Australia, p. 507-527

