

3.2 Fernerkundung

- ausführliche Zusammenfassungen der Teilprojekte von *pre agro* mit Schwerpunkt „Fernerkundung“

Prof. Dr.-Ing. R. Bill, Dr.-Ing. G. Grenzdörffer, Dipl. Geogr. T. Foy, Dr. T. Selige, Prof. U. Schmidhalter, Prof. B. Dohmen, Dipl. Ing. A. Reh

Fernerkundung kann zur Unterstützung teilflächenspezifischer Applikationen, die entweder auf der Verarbeitung statischer oder dynamischer Daten beruhen, verschiedenste Informationen liefern. Der Beitrag der Fernerkundung für statische Applikationen (z.B. Aussaat und Grunddüngung) die nach dem sog. Mapping Ansatz berechnet werden, liegt vor allem darin zuverlässige Standortinformationen (= Standort(potential)-karten), wie beispielsweise quantitative Informationen zur Bodenart, zur verfügbaren Feldkapazität oder zum Ertragspotential auf der Grundlage multispektraler Informationen zu liefern. Bei Applikationen, die sich in stärkerem Maße auf den (tages)aktuellen Pflanzenzustand beziehen, stößt dieses Verfahren an seine Grenzen.

Für Online Verfahren, die in real-time bzw. nahe real-time die Mengenregulierung z.B. für die N-Düngung und PSM vornehmen sollen, sind zeitabhängige Informationen zur Bestandesentwicklung und -vitalität sowie zum aktuellen Bodenwasserhaushalt (= Zustandskarten) durch Spektrosensoren zu bestimmen und zu bewerten. Alternativ zu traktorgestützten Sensoren kann die flugzeuggestützte Fernerkundung ebenfalls aktuelle und großräumige Bestandesinformationen z.B. zur N-Düngung oder für Fragestellungen im Bereich des Pflanzenschutzes liefern. Für die Applikationsunterstützung durch Fernerkundung sind aufgrund der turn-around Zeiträume und der Erfassungs- und Regelungsgröße landtechnischer Maschinen unterschiedliche Fernerkundungssensoren geeignet, siehe Abb. 3.2-1.

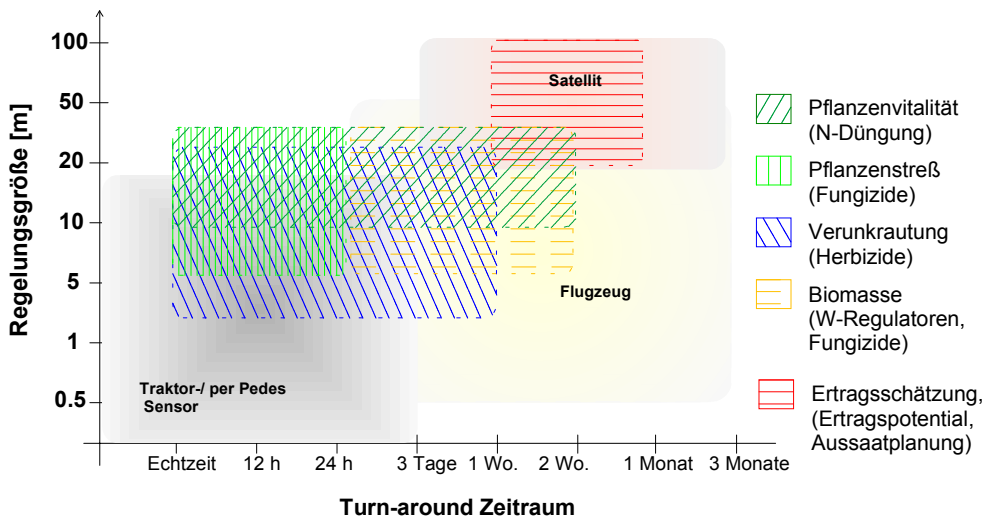


Abb. 3.2-1: Eignung verschiedener Sensorplattformen für verschiedene Parameter / Maßnahmen in Abhängigkeit der Regelungsgrößen und Turn-around Zeiträume

Neben der gezielten Applikationsunterstützung können Fernerkundungsaufnahmen als Managementinstrument für die Bestandesführung eingesetzt werden, und immer einen aktuellen Überblick gewährleisten der gerade in Großbetrieben besonders wichtig ist, um z.B.:

- den Entwicklungszustand des gesamten Schlags durch gezieltes Anlaufen und Bonitieren einzelner Stellen sicher zu erfassen
- Die Standortverhältnisse bei Betriebsleiterwechsel oder Flächenerwerb schnell zu erfassen
- Dokumentationsgrundlage bei Rechtsstreitigkeiten (Wild- und Hagelschäden, Wegebau, Meliorationsanlagen, Naturschutz, ...) zu erhalten.

Im Gegensatz zur Applikationsunterstützung liegt die Interpretation solcher Aufnahmen vollständig in den Händen des Landwirts bzw. des Beraters, was an ein Sensorsystem und die notwendige hohe Bodenauflösung von < 1 m ebenfalls besondere Anforderungen stellt. Im Mittelpunkt der vom **TP II-2** „Luftbilder“ entwickelten Technik steht das digitale Fernerkundungssystem PFIFF – mit einer hochauflösenden Farbdigitalkamera Rollei DSP 104 (2010 * 2018 Pixel) – welches an Bord einer Cessna 172 zum Einsatz kommt. Bei einer Flughöhe zwischen 2.500 m und 3.000 m wird eine Bodenauflösung von 0.75 – 0.9 m erreicht. Mit der digitalen Technik ist es möglich die Aufnahmen innerhalb weniger Tage aufzubereiten und den Projektbetrieben zur Verfügung zu stellen. Die mehrmals im Jahr erstellten Aufnahmen dienen sowohl als Managementinstrument zur Unterstützung der Boden- und Bestandesführung als auch zur near-real-time Unterstützung teilflächenspezifischer Applikationen.

Die Umsetzung der Fernerkundungsinformationen in teilschlagspezifische Applikationen bzw. zur kombinierten Auswertung in einem GIS setzt eine exakte und schnelle Geokodierung der Aufnahmen voraus. Aus diesem Grunde wurde ein GPS/AHRS-System entwickelt sowie verschiedene photogrammetrische Verfahren zur automatischen Aerotriangulation untersucht und eingesetzt, die keine bzw. nur sehr wenige Bodenpaßpunkte benötigen.

Im Hinblick auf die Bestandesentwicklung liefern Fernerkundungsaufnahmen Informationen, mit einer geringen Halbwertszeit. Daher sind für Applikation wie z.B. die 2. und 3. N-Gabe relevante Ableitungen weitestgehend automatisiert und objektiv zu generieren. Dazu ist als eine digitale Auswertestrategie einerseits der **Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)** getestet worden der nur Spektralbereiche des sichtbaren Lichts verwendet und linear mit dem Vegetationsanteil des Bestandes (= Bestandesdichte) korreliert ist. Andererseits sind objektorientierte Klassifizierungsansätze erfolgreich zum Einsatz gekommen. Allerdings besteht z.B. für absolute quantitative Auswertungen und Zeitreihenanalysen im Hinblick auf die Vorverarbeitung und Atmosphärenkorrektur der Aufnahmen noch weiterer Forschungsbedarf.

Darüber hinaus ist zu Beginn der zweiten Projekthälfte das untersuchte Sensorenspektrum wesentlich erweitert worden, zum einen durch die Verwendung von Landsat TM Satellitenbildern und zum anderen durch terrestrische Spektrolsensoren (Hydro-N Sensor im Spektralmodus) und Feldspektrometernmessungen. Der Fokus der Auswertungen lag auf der multitemporalen Analyse verschiedener Zeiträume und dem Vergleich verschiedener Sensoren. Anhand des Schlags Kiesberg, Betrieb Wulfen zeigte sich, daß ein Upscaling von Handproben, über terrestrische und flugzeuggestützte Sensoren bis hin zur Satellitenaufnahme möglich ist. Am Beispiel des Schlags 111-4 in Kassow wurde das Abreifeverhalten des Bestandes durch mehrfache Überfahrten mit dem Hydro-N Sensor im Spektralmodus analysiert. Die berechneten Vegetationsindizes spiegeln in erster Linie die Biomasse wider, jedoch aufgrund der komplexen Ertragsstruktur nicht zwangsläufig den Korntrag. Zur Übertragung der anhand der Handernten gebildeten Biomassecluster in die Fläche wurde eine überwachte multitemporale Klassifikation der NDVI-Datensätze durchgeführt.

Das Teilprojekt Bestandesinformationen (**TP II-4**) befaßt sich mit der Analyse spektraler Unterschiede von Vegetation und Boden im nahen Infrarot (NIR) unter Verwendung digitaler Videotechnik. Die besondere Eignung der Reflexion des nahen Infrarotlichtes (NIR) zur Heterogenitätsanalyse von Pflanzenbeständen ist in der Literatur vielfach beschrieben und erklärt sich aus der Beobachtung, daß in diesem Spektralbereich morphologische Veränderungen an Pflanzenbeständen sehr gut erkennbar werden. Das eingesetzte System besteht aus 2 hintereinander in das Bodenloch einer Cessna 172 eingebauten Videokameras, wobei eine Kamera im NIR (850 – 1050 nm) und die andere als Farbkamera sichtbares Licht (RGB) aufzeichnet. Die Flughöhe wird der Schlaggröße angepaßt und ergibt bei 2000 – 3000 m über Grund eine Bodenauflösung von 3 – 4 m. Das auf die Tonspur des Videos aufgezeichnete GPS-Signal ermöglicht die gezielte Suche auszuwertender Flächen. Die notwendige Geokodierung der Aufnahmen erfolgt schlagweise über Paßpunkte, die entweder aus digital vorliegenden Schlaggrenzen oder einer großmaßstäbigen topographischen Karte gewonnen werden. Dadurch ist es u.a. möglich, mehrere zeitlich versetzte Aufnahmen eines Schrages pixelgleich aufeinanderzusetzen und zu verrechnen. Die Bildung von 16 Reflexionsklassen einer Videoaufnahme hebt signifikante Boden- und Bestandsunterschiede hervor.

Zur Erfassung unterschiedlicher Entwicklungsstadien der Pflanzenbestände erfolgt eine mehrmalige Überfliegung im Jahr. Mit den Befliegungen des Jahres 2001 wurde die bisherige Datenbasis für multitemporale NIR-Auswertungen entsprechend erweitert. Ein phänologisch wichtiger Flugtermin ist u.a. die Zeit der Abreife. Pflanzen reagieren auf Stresssyndrome (Nährstoffmangel oder Wasserdefizite) mit vorzeitiger Seneszens (Abreife), wobei sich die Zellstruktur verändert. Dies führt zu einer rückläufigen NIR-Reflexion in den entsprechenden Arealen eines Schrages.

Zur Überprüfung von evtl. bestehenden Zusammenhängen zwischen dem zonalen Abreifeverhalten eines Schrages über die Jahre hinweg, wurden die Daten des Projektschlages „Finkenherd“ (141) in Wulfen analysiert. Da Differenzbilder vorzugsweise zum Vergleich zweier Zeitpunkte geeignet sind, wurde im Jahre 2001 erstmalig auf ein Auswertungsverfahren zurückgegriffen, das die Verrechnung unterschiedlicher Informationen über mehrere Jahre hinweg zuläßt. Im Rahmen einer überwachten Klassifikation (Maximum Likelihood) wurden für den Versuchsschlag „141“ auf dem Betrieb „Wulfen“ neben den NIR-Luftbildern verschiedener Überflugszeitpunkte auch andere Daten aus der Ertrags- und Bodenkartierung in die Analyse einbezogen. Als Ergebnis lassen sich Zonen unterschiedlichen Ertragspotentials herausarbeiten, die als Orientierungshilfe für die Festlegung von Management-Zonen herangezogen werden können. Diese Zonen wiederum können für pflanzenbauliche Entscheidungen bei der Aussaat, Düngung und des Pflanzenschutzes eine wichtige Orientierungshilfe darstellen, um z.B. Inputmengen unterschiedlich stark zu variieren. Die bisher besten Ergebnisse bei der Interpretation und Verwendung der NIR-Daten wurden auf solchen Standorten erzielt, auf denen das im Wurzelraum verfügbare Bodenwasser eine der Produktionslimitanten darstellt. Derartige Bedingungen sind auf vielen Standorten in den Neuen Bundesländern anzutreffen, die mit weniger als 500 mm Jahresniederschlag und einer ungünstigen Verteilung zu den „Trockenstandorten“ zählen.

Für regenreichere Gebiete bedarf es noch weiterer Untersuchungen, wie NIR-Luftbilder im Rahmen von Precision Farming zur Entscheidungsvorbereitung einzusetzen sind. Die Flugdaten des Jahres 2002 werden hier sicherlich noch wertvolle Informationen liefern.

Das **TP II-6a** „Bodenwasserspeicher“ beschäftigt sich in erster Linie mit der Untersuchung und Entwicklung fernerkundlicher Kenngrößen zur flächenhaften Modellierung des Wasserhaushalts auf Agrarstandorten. Diese Fragestellung ist von herausragender Bedeutung, denn

der Bodenwasserhaushalt ist der bedeutendste Ertragsdifferenzierende Faktor innerhalb eines Schläges.

Da Fernerkundungsdaten nur Informationen der Oberfläche von Objekten widerspiegeln und diese meist vom Pflanzenbestand geprägt sind, müssen zur Abgrenzung von Standorten und zur Beurteilung bodenbürtiger Eigenschaften auf Rückschlüssen aus dem Zustand der Kulturpflanzenbestände beruhen. 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 einer frühen und hochgenauen Vorhersage der relativen Ertragsdifferenzierung mit Multispektraldaten eines Deadalus ATM Scanners der DLR auf. Die Ableitung des bodenbürtigen Ertragspotentials wurde mittels Daten der Ertragsleistung validiert.

In Regionen mit negativer Wasserbilanz während der Vegetationszeit ist das pflanzenverfügbare Bodenwasser die limitierende Bodeneigenschaft. Abgesehen von lokalen Einflüssen durch Grundwasser und laterales Zuschußwasser, stehen 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 und der Aufwuchsbonität. Um die standörtliche Produktivität zu quantifizieren, ist der Einfluß von Grundwasser und lateralem Zuschusswasser aber zu berücksichtigen. 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. 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. Klassenbreiten von 50 mm pflanzenverfügbaren Bodenwassers können signifikant abgegrenzt werden.

Ausgehend von der Karte des pflanzenverfügbaren Wassers wurde die standortspezifische Effizienz der Stickstoffdüngung untersucht. 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, um die Effizienz der Düngung zu optimieren und eine ökologisch verträgliche Nutzung zu gewährleisten. Denn geringe Wasserverfügbarkeit eines Standortes führt bei einheitlich hoher (betriebsüblicher) Stickstoffdüngung zu hohen Mengen an Reststickstoff im Boden und damit einem hohen Risiko für Stickstoffausträge.

3.2 Remote Sensing

extended summary of the respective subprojects of *pre agro*, dealing with “Remote Sensing”

Prof. Dr.-Ing. R. Bill, Dr.-Ing. G. Grenzdörffer, Dipl. Geogr. T. Foy, Dr. T. Selige, Prof. U. Schmidhalter, Prof. B. Dohmen, Dipl. Ing. A. Reh

Remote sensing data for variable rate treatments may be separated into two categories: spatial base information of soil properties or yield potential (= *site (potential) map*) and spatially dynamic information of the canopy development, the soil water dynamics or the quality of recent crop management decisions (= *status map*).

The contribution of remote sensing for “static” applications e.g. seeding, base nutrient fertilisation is to deliver reliable base information based upon the spectral reflectance such as quantitative information of the top soil, the available field capacity or the yield potential. For the *long term site information* the specification for the sensor platform, processing, ancillary data etc. have to meet certain standard that allow a multi temporal analysis.

The contribution of remote sensing for “dynamic” applications, e.g. fungicides, N-fertilisation, is to provide current crop status information, e.g. biomass, nitrogen content which is of great importance for several treatments. With the online approach the current crop stands or weeds are identified and analysed by a terrestrial sensor for a near real-time or real-time treatment. Airborne or satellite remote sensing may also deliver current and large scale crop status information, e.g. for N-fertilisation or for certain plant protection issues. Due to importance of the turnaround time (the time between image acquisition and delivery) and in accordance to a specific size of a management unit in relation to the treatment a variety of remote sensing sensors are suitable for different treatments, fig. 3.2-1.

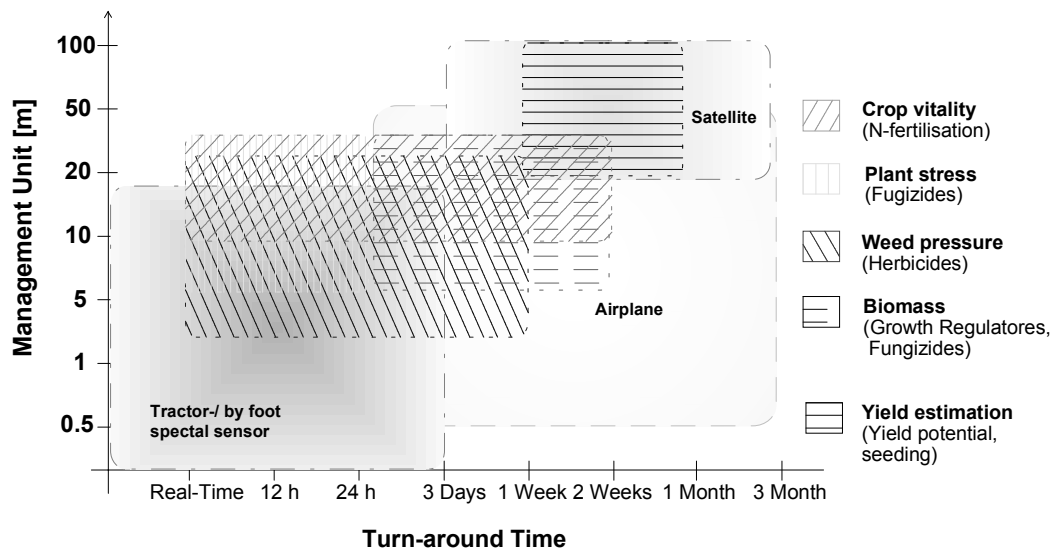


Fig. 3.2-1: Suitability of different sensors for various treatments in terms of turnaround time and ground resolution ($\approx 1/3$ of management unit size).

Beside the use of remote sensing for application support remote sensing data is also a valuable source of information for *site specific farm management*, which is especially important for large farms to obtain a current overview. From the remote sensing data the farmer may benefit in different ways, e.g.:

- Obtain a representative and current overview of the whole field / farm through a targeted addressing of certain spots of interest.
- Receiving the site properties of the farm quickly after a change in the management personnel or the purchase of new fields
- Objective documentation for legal issues, e.g. (wildlife damage, hail damage, street planning, environmental protection, ...)

The interpretation of such images lies in the hands of the farmers and or consultants in contrary to the application support, thus setting particular demands for a sensor system and the necessary high ground resolution of < 1 m.

The core of the image acquisition system FIFF developed by the **TP II-2** ‚aerial images‘ is a high-resolution digital colour Rollei DSP 104 camera with a resolution of $2010 * 2018$ pixel, which is used on board a Cessna 172. At an altitude of 2.500 m - 3.000 m a ground resolution of 0.75 – 0.9 m is reached. With the digital workflow and image processing procedures it is possible to preprocess and geocode the images within a few, thus making them quickly available to the project partners. The imagery which is taken at different phenological stages is also used as a management tool to support soil and inventory management and for near real time support of site-specific applications.

The transformation of remote sensing information to specific treatments or for combined utilisation in a GIS requires an precise and quick geocoding of the imagery. Due to this reason a GPS-AHRS system was developed and different photogrammetric procedures which require none or very few ground control points were investigated and used for automatic aerotriangulation.

With regard to crop development, remote sensing imagery may deliver information is quickly outdated. For applications such as the 2nd and 3rd N-dressings, relevant derivations must therefore be extensively automated and generated objectively. Due these reasons digital image analysis procedures such as the **Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)** were tested successfully. This index relies only on the spectral bands in the visible spectrum and is linearly correlated to the vegetation fraction (= crop density). Furthermore object oriented classification strategies were also evaluated. However, for absolute quantitative measurements and time series analysis there is still demand for further research, especially in the field of preprocessing and atmospheric correction of the image data.

Beside this, the focus of the research activities has been widened significantly by investigating additional sensors in the second half of the project. On one hand satellite sensors, like Landsat TM and on the other hand terrestrial sensors like the Hydro-N sensor in the spectral mode and field spectroradiometer measurements. The research focused on time series analysis at different spatial and temporal scales including a comparison of different sensors. At the field Kiesberg, farm Wulfen it could be shown that an upscaling from a hand survey to terrestrial, airborne and satellite borne sensors is possible. At the field 111-4 in Kassow the development of the senescence was investigated by several overpasses with the Hydro-N sensor in the spectral mode. The calculated vegetation indices were well correlated with the biomass and less correlated to the grain yield, due to a complex yield structure 2001. The spatial pattern of the biomass clusters was done by a supervised multi temporal classification of the NDVI-data sets.

The „crop stand information‘ subproject **TP II-4** deals with the analysis of spectral differentiation's between vegetation and soil in the near infra red (NIR) range using digital video technology. The system used consists of 2 video cameras built-in one behind the other in the ground hole of a Cessna 172 so that one camera records in NIR and the other as a colour camera senses the visible light (RGB). Flight altitude is adapted to the size of the fields and provides a ground resolution of 3 - 4 m at altitudes of 2.000 - 3.000 m above ground. The GPS signal recorded on the video's soundtrack enables the targeted search for the fields to be evaluated. The necessary geocoding of the imagery is done one field at a time by means of ground control points which are either obtained from digitally available field boundaries or from a large-scale topographical map. In this way it is possible to precisely overlay imagery acquired at different times and perform change detection calculations. The formation of 16 reflection classes of a video image enhances significant soil and crop differences.

To record different development stages of the plant canopy repeated aerial surveys are necessary. With the flight campaigns of the year 2001 the existing data base for multitemporal NIR-analysis was extended. The time of senescence is among others a phenologically important flight date. Plants react to stress syndromes such as food or water shortage with premature ageing (senescence) thereby changing the cell structure. This leads to a reduced NIR reflection in these areas of the field.

For the examination of coincidences between the senescence patterns of a field over the years, data of the field Finkenherd (141) in Wulfen was analysed. Because difference images are preferable used for the comparison of two different dates, a new approach was first explored in 2001 that enables multi temporal analysis of different type of data. A variety of different data sources including soil information, yield maps and remote sensing data was incorporated into a supervised classification procedure (maximum likelihood) of the field 141. As a result management zones of different yield potential could be determined. These management zones could be used in the decision making for variable rate treatments such as seeding, fertilisation and plant protection. The best results with this approach was realised in areas in which the plant-available water storage capacity becomes a limiting parameter factor for crop production. Areas with less than 500 mm of rainfall and a unfavourable distribution of the precipitation are considered to be “dry sites” and are often found in eastern Germany. The use of NIR-imagery for the determination of management zones and decision support for other sites with more precipitation requires further research. The image data of 2002 will surely deliver more valuable information for this and other questions.

The “soil water storage” sub-project **TP II-6a** develops techniques for the derivation of soil- and location maps from multispectral remote sensing data. The goal is to develop remote sensing supported methods for the derivation of spatially differentiated maps. The plant-available soil water storage capacity is of mayor importance, because the it is the most important parameter for variable yields within a field.

Remote sensing technologies are not able to view into the soil profile but are recording the spectral characteristics of soil-crop surfaces. For the differentiation of soil related zones a model has to use the canopy reflection as an indicator of the subsurface situation. The development of a soil-plant-sensor model was thoroughly validated with the data from the year 2000. The investigations to forecast grain yield demonstrated the opportunities to determine the relative yield variations early and accurately with the multi spectral data of the Deadalus ATM scanner of the DLR. The derivation of the soil bound yield potential was validated with selected hand measurements.

In regions with a negative water balance during the vegetation period the plant-available water storage capacity becomes the most limiting parameter of soil productivity. Beside local

influences due to ground water and lateral water the crops only have access to the plant available water storage capacity of the root zone (AWC_{rz}). This soil parameter has been identified as central factor for soil productivity. Therefore the AWC_{rz} correlates strongly with the biomass and the crop stand condition. To determine the site specific productivity the influence of the ground water and the lateral water has to be considered. In the reaction of the crops to the local water resources this effect is already included. This allows for a more precise determination of the soil productivity than conventional soil taxation based on drill holes. Research work has shown that very good differentiation can already be achieved in the area of low stress effects by the use of the thermal emission response. Classes of 50 mm plant-available water storage capacity could be separated significantly.

Based on the map of the plant-available soil water storage capacity the site specific efficiency of the N-fertilisation was investigated. The results underlined the central importance of the plant-available soil water storage capacity for the site specific efficiency of the N-fertilisation. Considering the findings the N-fertilisation should be coupled to the water availability, to increase the efficiency of the fertilisation and to guarantee an ecologically responsible use of the fertiliser. Because at a site with poor water capacity a standard fertilisation with uniform high dressings will lead to a high amount of residuals and thereby increase the risk of N-leaching.