

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass es mit Hilfe von geophysikalischen und fernerkundlichen Methoden möglich sein wird, eine schnelle Eingrenzung von Ertragspotenzialen der Teilflächen von Schlägen vorzunehmen. Die durchgeführten Modellanpassungen erlauben es, ergänzende Simulationen zur Ermittlung von Ertragspotenzialen verschiedener Standorte vorzunehmen.

Die Bearbeitung des Themenbereiches Ertragspotenziale und Ertragserwartung ist eine wesentliche Ebene für precision agriculture, in der viele Einzelaspekte in der Beschreibung der Standorte und der Bestandesentwicklung - und damit verschiedener F+E-Arbeiten von *pre agro* - integrativ gebündelt werden.

#### **4.2.2.2 Geophysikalische und fernerkundliche Ermittlung und Modellierung teilflächenspezifischer Ertragspotenziale bzw. Ertragserwartungen**

##### **4.2.2.2.1 Ziele**

In diesem Bereich werden drei verschiedene methodische Ansätze eingesetzt und zur Ableitung teilflächenspezifischer Bodeneigenschaften sowie von Standortcharakteristika und Ertragspotenzialen verknüpft. Diese Arbeiten umfassen:

- geophysikalische Untersuchungen zur Ableitung standortspezifischer Bodeneigenschaften (Kapitel 4.2.1.3),
- fernerkundliche Untersuchungen zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Standorteigenschaften und statischen Ertragspotenzialen bzw. aktuellen Ertragserwartungen (Kapitel 4.2.2.2.4),
- Messungen und Modellierungen des pflanzlichen Wasserhaushalts und des Bodenwasserhaushalts zur Beschreibung von Ertragspotenzial und Ertragserwartung.

Die Gesamtzielsetzung liegt in der Beschreibung der *langfristigen, statischen Ertragspotenziale* und der *kurzfristigen, dynamischen Ertragserwartung*, die als Basisinformation für teilflächenspezifische Maßnahmen eingesetzt werden können.

Im Teilprojekt *Bodenwasserspeicher* wird der Einfluss der Wasserversorgung eines Standortes auf sein Ertragspotenzial erfasst. Hierfür müssen sowohl die Faktoren, die das Wasserangebot eines Standortes, als auch diejenigen, die die Wassernachfrage der Kulturpflanzen bestimmen, definiert und quantifiziert werden (Schmidhalter et al. 1998). Die Ableitung des statischen, langfristigen Ertragspotenzials aus Bodendaten, Pflanzendaten sowie Ergebnissen aus *fernerkundlichen* und *geophysikalischen* Analysen ist ein wichtiger Ansatz zur Erreichen dieses Zieles. Da die für kurze Zeiträume angesetzte Ertragserwartung eines Standortes wesentlich von der Witterung beeinflusst wird, müssen Methoden eingesetzt und entwickelt werden, die es erlauben, diese dynamische, kurzfristige Ertragserwartung zu quantifizieren.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden neben den o. g. Methoden auch Simulationsmodelle und Onlinesensoren zur Bestimmung des Bodenwassergehaltes eingesetzt. Weiter müssen Methoden

und Managementstrategien entwickelt werden, durch die sowohl das Ertragspotenzial als auch die aktuelle Ertragserwartung erfasst werden können und dementsprechend der Bestand gesteuert wird.

Der dritte Bereich, die *analytische Erfassung des Boden- und Pflanzenwasserhaushalts*, dient neben der Prozessaufklärung insbesondere der Eichung der ermittelten geophysikalischen und fernerkundlichen Informationen. Aus der Verknüpfung der drei Teilprojektbereiche sollen in einem ersten Schritt die Standortcharakteristika und der aktuelle Wasserhaushalt von Boden und Pflanzen und ihre Beziehung zum aktuellen Ertrag auf den Intensivmessstandorten Wulfen/Baasdorf abgeleitet werden. In einem zweiten Schritt wird auf Grundlage der auf allen Betrieben erhobenen ECa-Informationen eine Beschreibung der Bodeneigenschaften und der darauf basierenden teilflächenspezifischen Standortcharakteristika für die übrigen Betriebe angestrebt. Damit soll aufgezeigt werden, in welchem Maße mit geophysikalischer Information alleine und in Verknüpfung mit vorhandenen Informationen, wie der Reichsbodenschätzung bzw. Bodenkarten sowie Ergebnissen von Simulationen mit Wachstumsmodellen, ein detailliertes teilflächenspezifisches Ertragspotenzial abgeleitet werden kann. Unter Hinzunahme von weiteren Informationen soll stufenweise die mögliche qualitative Verbesserung dieser Aussage überprüft werden. Dies umfasst ein- oder mehrjährige Ertragskarten und in einer späteren Phase die auf den übrigen Betrieben erhobenen Spektralinformationen. Diese Validierungen werden in enger Zusammenarbeit mit den übrigen inhaltlich beteiligten Teilprojekten durchgeführt.

#### 4.2.2.2 Methoden

Die hier verwendete Grundlage für die *Bestimmung des Ertragspotenzials* bilden die Messung der elektrischen Leitfähigkeit mit dem ESMS-System (Durlessen et al. 1996) und die daraus resultierende Ableitung von Bodensubstratkarten (Durlessen und Stanjek 1997) sowie die fernerkundliche Erfassung des Pflanzenwasserstatus bzw. der Biomasse in bestimmten Vegetationsabschnitten durch Spektralanalyse. Die erfassten hochaufgelösten räumlichen Daten werden durch Ground-Truth Messungen geeicht (Lenz und Selige 1996). Bodenparameter werden an Einzelpunkten bestimmt. Der Pflanzenwasserstatus wird parallel zu den fernerkundlichen Messungen mittels der Scholanderbombe erfasst. Als Ergebnis der Messungen wird eine hochaufgelöste Karte der nutzbaren Feldkapazität entstehen. Daraus kann das Ertragspotenzial durch geeignete Abschätzungsansätze abgeleitet werden.

Grundlagen für diese Erfassung bzw. Ableitung des *Ertragspotenzials* sind neben der o. g. Karte der nutzbaren Feldkapazität vor allem kontinuierliche Messungen von Bodenwassergehalt, Pflanzenwasserstatus sowie Computersimulationen des Boden- und Pflanzenwasserhaushalts mit historischen Wetterdaten wie auch multitemporale Spektralanalysen. Der Bodenwassergehalt wird durch den Bodensensor EnviroScan an mehreren Standorten kontinuierlich in 5 Tiefen gemessen. Parallel dazu sind Tensiometer zur Erfassung der Saugspannung installiert. Diese Tensiometer werden ebenso wie die installierten Diviner Bodenwassersensoren wöchentlich abgelesen. Über die Vegetationsperiode verteilt wird der Pflanzenwasserstatus mittels der Scholander-

bombe bestimmt. Auch die ESMS-Messungen sollen kontinuierlich über die Vegetationsperiode durchgeführt werden, um den Einfluss des aktuellen Wassergehaltes des Bodens auf das Messsignal zu quantifizieren.

Methoden zur Ableitung des Pflanzenwasserverbrauches stellen die Si- bzw. die  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Methoden dar (Camp et al. 1995). Aus der Menge der Einlagerung von Silicium in Pflanzenteile kann auf den Wasserverbrauch rückgeschlossen werden. Das Verhältnis von  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  in Blättern lässt Rückschlüsse über die Effizienz der Wassernutzung der Pflanze in definierten Wachstumsabschnitten zu. Beide Methoden können dazu dienen, Informationen über die Heterogenität der Wasserversorgung eines Standortes direkt aus der Pflanze abzuleiten.

Der selbe Ansatz wird auch bei der Ableitung des Wasserverbrauches einer Pflanze in definierten Vegetationsabschnitten durch Messung sensitiver Parameter des Wachstums, u. a. des Blattlängenwachstums, verfolgt.

Detaillierte methodische Beschreibungen der geophysikalischen und fernerkundlichen Untersuchungen als Grundlage für die Ableitung von Ertragspotenzialen bzw. der Ertragserwartungen finden sich in den Kapiteln 4.2.1.3 und 4.2.3.

#### 4.2.2.2.3 Stand der Arbeit

Die *geophysikalischen Basisuntersuchungen* sind weitgehend abgeschlossen und werden nun einer Feininvalidierung zugeführt. Die *fernerkundlichen Untersuchungen* konnten programmgemäß durchgeführt werden und werden zur Zeit detailliert ausgewertet. Der Bereich *Pflanzen- und Bodenwasserhaushalt* konnte aufgrund der verzögerten Stellenbesetzung erst in der zweiten Jahreshälfte 1999 in Angriff genommen werden. Dieses erste halbe Bearbeitungsjahr diente im Wesentlichen der Einarbeitung in verschiedene Methoden zur Erfassung des Boden- und Pflanzenwasserhaushalts. Das ursprüngliche Konzept der Erfassung des volumetrischen Wassergehalts mit Equitensimetern wurde geändert, da sich eine elegante Lösung zur Erfassung des volumetrischen Wassergehalts mit einer kapazitiven Messmethode ergab. Diese Technik (Frequency-Domain-Technik, s. Kap. 4.2.1.3) wurde eingehend getestet und steht für die Untersuchungen im Jahr 2000 zur Verfügung. Mit diesem Prinzip lassen sich Wassergehalte auf einigen Intensivstandorten online ermitteln und auf Extensivstandorten durch wöchentliche Messungen. Die Techniken zur Erfassung des Wasserstatus der Pflanzen wurden intensiv getestet und sind nun operationell verfügbar.

#### 4.2.2.2.4 Ergebnisse und Diskussion

Die *geophysikalischen Untersuchungen* haben es ermöglicht, ECa-Karten für alle Pflichtschläge sämtlicher Betriebe zu erstellen (Kap. 4.2.1.3). Diese Primärinformation ist in *premis* gespeichert worden und damit für alle Projektpartner in *pre agro* verfügbar. Sehr heterogene Bedingungen

finden sich auf den Betrieben Raguhn und Baasdorf verhältnismäßig weniger heterogene Bedingungen auf dem Betrieb in Thumbby.

Erste *Ergebnisse der Fernerkundung* sind sehr vielversprechend. Aufgrund der hohen Flächenleistung und der multitemporalen Erfassungsmöglichkeit von Pflanzenzuständen handelt es sich hier zweifellos um eine extrem leistungsstarke Methode. Bisherige fernerkundliche Untersuchungen waren häufig in ungenügendem Maße durch ein begleitendes Messprogramm am Boden abgestützt. Das Teilprojekt konzentriert sich deshalb sehr stark auf eine intensive Eichung der spektralen Informationen. Die begleitenden Messungen anlässlich der Flugkampagnen im Jahr 1999 haben den hohen Stellenwert dieser Arbeit aufgezeigt. Erste nun vorliegende Ergebnisse zeigen einen engen Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur und der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (Abb. 4.2.2-1). Letztere Größe ist vorerst vereinfacht nach Bodenansprache und Ableitung der nFK nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung abgeschätzt worden. Ein noch engerer Zusammenhang ergab sich zwischen der Größe *Bodenwasserspeicher* und beispielsweise dem *Rübenenertrag* (Abb. 4.2.2-2). Abbildung 4.2.2-3 zeigt die Karte des bodenbürtigen Ertragspotenzials eines Schlages abgeleitet aus Daten des Daedalus-Multispektralscanners, von Boden- und Ertragsdaten. Die vollumfänglich vorliegenden prozessierten Daten werden nun eingehenden Vergleichen unterworfen.

Begleitend zu den Ground-Truth-Messungen der Fernerkundung sind im Jahr 1999 ergänzende Voruntersuchungen zum Wasserstatus der Pflanzen durchgeführt worden. Diese umfassten diurnale und aktuelle Wasserstatusmessungen und im Verbund mit der DFG-Forschergruppe *Informationssysteme Kleinräumige Bestandesführung* (IKB) der TU München-Weihenstephan auch spektrale Informationen des Stickstoff- und Wasserstatus der Pflanzen. Diese sind von großer Bedeutung bei der Validierung der fernerkundlichen Spektralinformationen und ergänzen deren Ground-Truth-Programm. Erste erfolgreiche Untersuchungen konnten zudem mit dem neuen kapazitiven System zur Erfassung des Bodenwasserstatus durchgeführt werden (Frequency-Domain-Technik, s. o.).

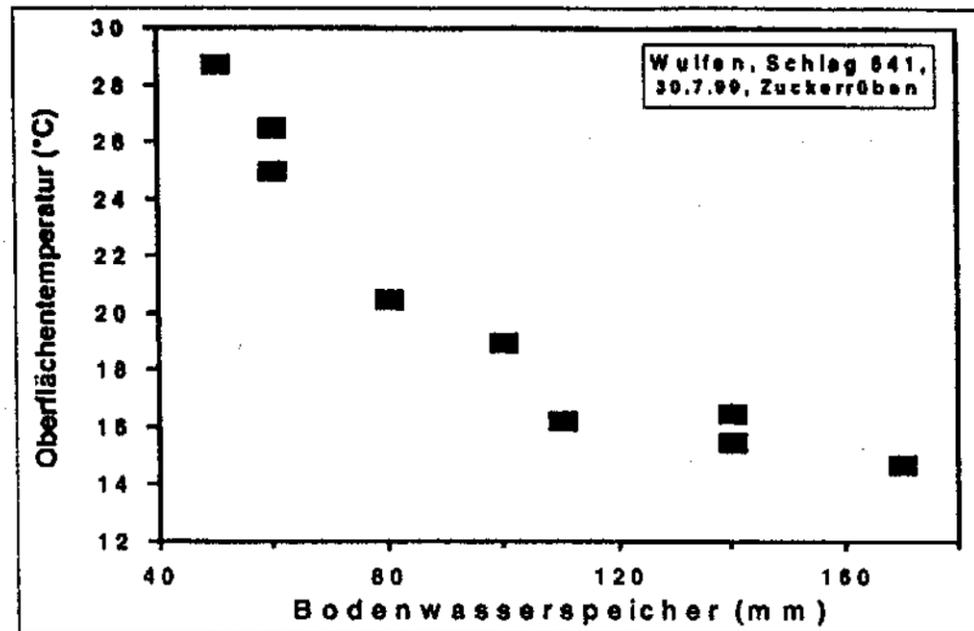


Abb. 4.2.2-1: Exemplarischer Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur (Daedalus-Multispektralscanner) und der geschätzten nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum (Fingerprobe nach bodenkundlicher Kartieranleitung KA4) der Untersuchungsstandorte auf Schlag 641 des Betriebes Wulfen in 1999

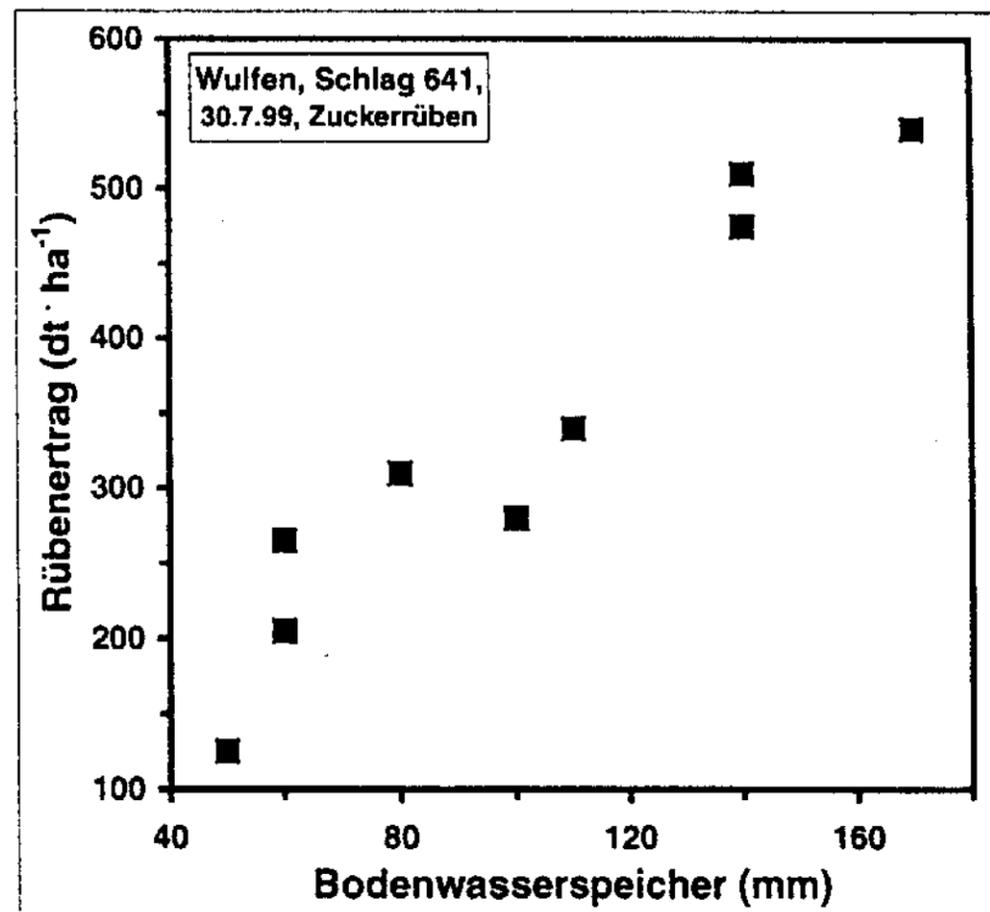


Abb. 4.2.2-2: Exemplarischer Zusammenhang zwischen der geschätzten nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum und dem Rübenenertrag der Untersuchungsstandorte auf Schlag 641 des Betriebes Wulfen in 1999

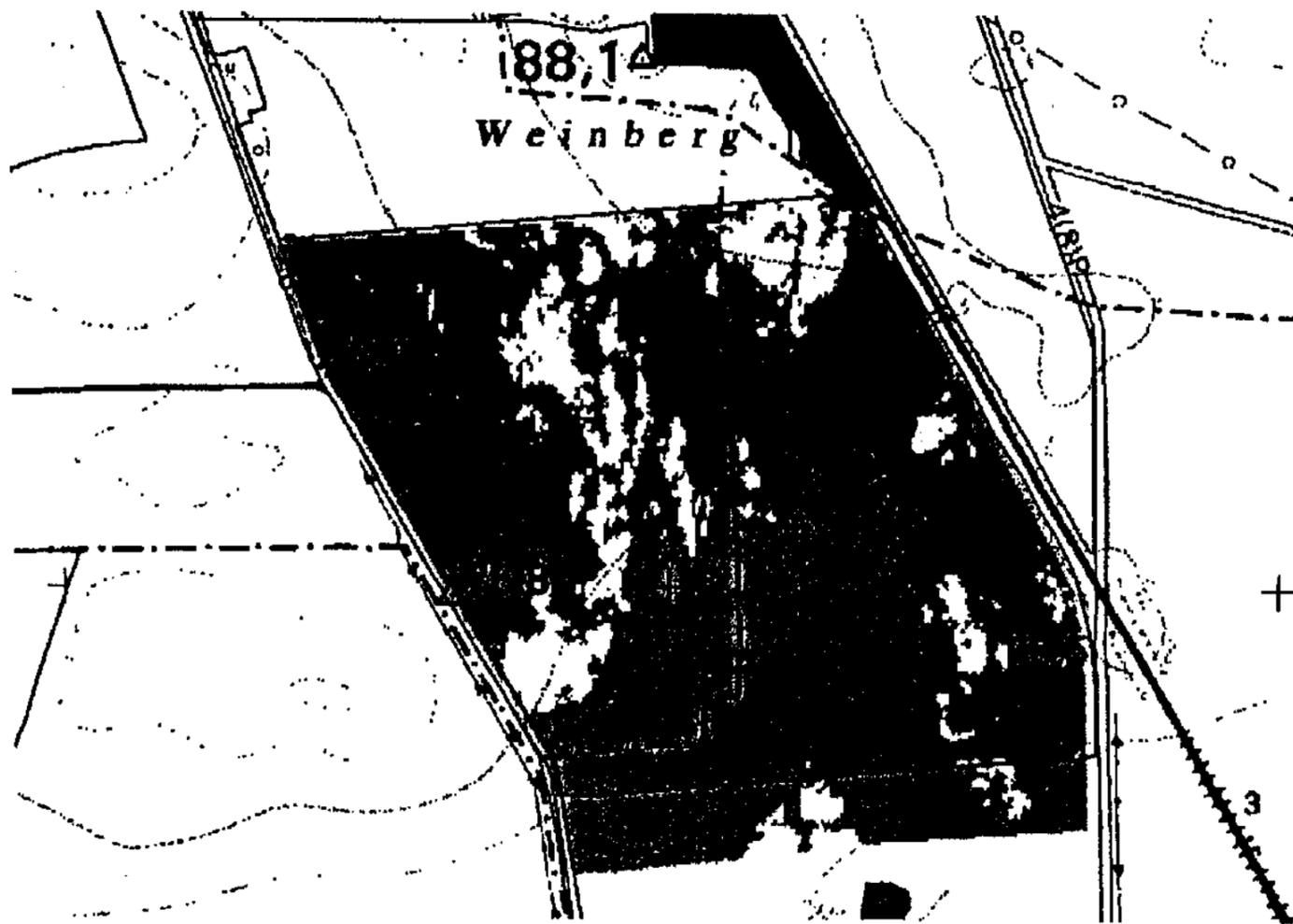


Abb. 4.2.2-3: Karte des bodenbürtigen Ertragspotenzials von Schlag 641 des Betriebes Wulfen; abgeleitet aus Daten vom 30.07.99 des Daedalus-Multispektralscanners, Bodendaten und Ertragsdaten; braun = hohes, grün = mittleres, gelb = niedriges Ertragspotenzial

### 4.2.2.3 Erstellung von Ertragspotenzialkarten mit Hilfe von Simulationsmodellen

#### 4.2.2.3.1 Einleitung und Problemstellung

Die bisher dargestellten Methoden erlauben die Untersuchung der die Ertragshöhe beeinflussenden Standortcharakteristika sowie die Ermittlung, welche Ertragshöhen der Kulturpflanzen am Standort erreicht werden können. Die dabei gewählten *geophysikalischen* und *fernerkundlichen* Methoden müssen ergänzt werden um Abschätzungsverfahren, die Bestandesaufbau und artenspezifische Ertragsbildung berücksichtigen. Geeignete Abschätzungs- oder Simulationsmodelle sollen die physischen Standortbedingungen - im Sinne von Transferansätzen - in Potenziale bzw. Erwartungen, bezogen auf die Pflanzenbestände, übertragen. Erst so wird es möglich: (i) aus den allgemein abgeleiteten Standortcharakteristika die Ertragspotenziale für alle am Produktionsstandort relevanten Kulturpflanzenarten abzuleiten und (ii) die spezifischen Einflüsse von Sorten bzw. Anbaumaßnahmen auf Ertragspotenzial bzw. Ertragserwartung zu berücksichtigen (Werner 1995). Derartiges ist durch ausschließliche Analyse von Standortcharakteristika oder Bestandeszuständen, zudem noch in nur wenigen Beobachtungsjahren, nicht möglich. Umfangreich vali-