

DFG-Forschergruppe  
FOR 473

## Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung Dürnast

**IKB – Dürnast**



**Endbericht**

Februar 2006

Prof. Dr. H. Auernhammer (Sprecher)

Dipl.-Ing. R. Ostermeier

Dr. F.-X. Maidl

Prof. Dr. U. Schmidhalter

Dr. T. Schneider

Prof. Dr. P. Wagner



## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Angaben	4
2	Zusammenfassung	6
2.1	Boden und Wasser	6
2.2	Biomasse	7
2.3	Prozesssteuerung	8
2.4	Ökonomie und Ökologie	9
3	Arbeitsberichte	10
3.1	Boden und Wasser <sup>1)</sup>	10
3.1.1	Vereinfachte Erfassung der Bodenvariabilität bzw. des Bodenwassergehaltes	10
3.1.2	Einfluss der Variabilität in der Wasser- und Stickstoffversorgung auf die Ertragsleistung von Winterweizen	12
3.1.3	Erfassung des Pflanzenwasserstatus	14
3.1.4	Flächenhafte Erfassung der Biomasse, des Stickstoffstatus und des Ertrags von Winterweizen und Mais	16
3.1.5	Entwicklung und Prüfung teilflächenspezifischer Strategien	24
3.1.6	Zusammenfassung	25
3.1.7	Literatur	26
3.2	Biomasse	27
3.2.1	Approximierung der bidirektionalen Reflexionsfunktion <sup>2)</sup>	27
3.2.1.1	Methodischer Ansatz	27
3.2.1.2	Beiträge zum „mapping approach“	28
3.2.1.3	Beiträge zum „real-time approach“	30
3.2.1.4	Fazit und Forschungsbedarf	33
3.2.2	Biomasse und N-Status in Pflanzen <sup>3)</sup>	34
3.2.2.1	Material und Methoden	34
3.2.2.2	Ergebnisse zur reflexionsoptischen Abbildung der N-Aufnahme von Kulturpflanzen	35
3.2.2.3	Düngesystem für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische Stickstoffapplikation zu Winterweizen	43
3.2.2.4	Fazit und Forschungsbedarf	48
3.2.3	Literatur <sup>2, 3)</sup>	49
3.3	Prozesssteuerung	50
3.3.1	Open Source Modell für die mobile elektronische Kommunikation	50
3.3.1.1	Open Source Modell	50
3.3.1.2	LBS <sub>Lib</sub> und ISO <sub>AgLib</sub>	51
3.3.1.3	Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen	52
3.3.2	Automatische Prozessdatenerfassung	53
3.3.2.1	Ertragsmessdaten im Mähdrescher	53
3.3.2.2	Verfahrenstechnische Prozessdaten	56
3.3.2.3	Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen	59
3.3.3	Ertragskartierung	60
3.3.3.1	Ertragsmessfehler	61
3.3.3.2	Positionierungsmessfehler	61
3.3.3.3	Messdatenanalyse und Korrekturalgorithmus	62
3.3.3.4	Paraboloides Butterfly Fitting	63
3.3.3.5	Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen	68
3.3.4	ISOBUS-konforme Real-time Applikation mit Kartenüberlagerung	69

3.3.4.1	Methode und Material	70
3.3.4.2	Ergebnisse	70
3.3.4.3	Simulation	74
3.3.4.4	Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen	77
3.3.5	Literatur	79
3.4	Ökonomie und Ökologie <sup>4)</sup>	81
3.4.1	Informationsmanagement	81
3.4.1.1	Versuchsplanung	82
3.4.1.2	Versuchsdurchführung	83
3.4.1.3	IST-Kostenrechnung	83
3.4.2	Wirtschaftlichkeit	85
3.4.3	Entscheidungsregeln	91
3.4.3.1	Bedeutung der teilflächenspezifischen Informationen	93
3.4.3.2	Optimierung der Teilapplikationen	93
3.4.3.3	Ertragskarten	94
3.4.2.4	Reflexionsoptische Messungen (REIP)	94
3.4.3.5	Bodenleitfähigkeit	94
3.4.3.6	Zugkraft	94
3.4.4	Umweltwirkungen	95
3.4.4.1	Break-Even-Analysen	97
3.4.4.2	Risikoanalysen	97
3.4.4.3	Auswirkungen des Precision Farming- Einsatzes auf die Betriebsstruktur und Organisation	98
3.4.4.4	Politische Handlungsoptionen zur Verbesserung der Akzeptanz von Precision-Farming-Technologien	98
3.4.5	Schlussfolgerungen	98
4	Einordnung und Diskussion	100
4.1	Projektziele und Projektverlauf	100
4.2	Herausragende Ergebnisse	101
4.3	Weiterführende Arbeiten	103
4.3.1	Forschungsansätze	103
4.3.2	Neuausrichtung der Lehre	104
5	Publikationen	105
5.1	Publikationen in Fachzeitschriften	105
5.2	Kongressbeiträge	108
5.3	Buchbeiträge	116
5.4	Geplante Veröffentlichungen	117
5.5	Dissertationen, Studien- und Diplomarbeiten, Berichte, sonstige Publikationen	118
5.5.1	Dissertationen	118
5.5.2	Diplomarbeiten und Masterarbeiten	119
5.5.3	Studienarbeiten	120
5.5.4	Tagungsbände	122
5.5.5	Sonstige	123
6	Wissenschaftliche Veranstaltungen	125
6.1	IKB-Sitzungen	125
6.2	IKB-Seminare	125

6.3	Pressekonferenzen / Pressegespräche	126
6.4	Workshops	126
6.4.1	Nationale Workshops	127
6.4.2	Internationale Workshops	127
6.5	Messe/Ausstellungen	127
6.6	Internetpräsenz	128
6.7	IKB-Abschlusskolloquium	129
6.8	Sonstige herausragende Ereignisse	129

Verantwortliche Autoren:

<sup>1)</sup> Prof. Dr. U. Schmidhalter

<sup>2)</sup> Dr. T. Schneider

<sup>3)</sup> Dr. F.-X. Maidl

<sup>4)</sup> Prof. Dr. P. Wagner



# 1 Allgemeine Angaben

DFG-Aktenzeichen FOR 473/2

**Titel:** Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung – Dürnast (IKB Dürnast)

**Antragsteller:** Prof. Dr. Dr. Hermann Auernhammer  
(zugleich Sprecher in der gesamten Laufzeit)

**Institut/Lehrstuhl:** Technische Universität München  
Department für Biogene Rohstoffe und Technologie der  
Landnutzung  
Fachgebiet Technik im Pflanzenbau

**Berichtszeitraum:** 1.9.1998 bis 31.3.2005

**Liste der Publikationen:** (siehe Kap. 5.)

Lfd. Nr.	Veröffentlichungen in bzw. als	Anzahl Gesamt	Anzahl referiert (absolut)	Anzahl referiert (relativ)	Anzahl in englischer Sprache (absolut)	Anzahl in englischer Sprache (relativ)
1	Fachbeiträge	50	16	32 %	13	26 %
2	Kongressbeiträge	90	54	60 %	55	61 %
3	Buchbeiträge	16	13	81 %	9	56 %
4	Dissertationen	6 + 3 (+2)	6 + 3 (+2)	100 %	1 + 1	16 % / 18 %
5	Tagungsbände	15			7	47 %
6	Sonstige	11			1	9 %
<b>Gesamt</b>		<b>188</b>	<b>89</b>	<b>47 %</b>	<b>86</b>	<b>46 %</b>

**Workshops:** Gesamt (siehe Kap. 6.4) **7**  
davon national **5**  
davon international **2**

**Dissertationen:** Gesamt (\* schon im Umlaufverfahren; siehe Kap. 5.5.1) **11**  
abgeschlossen **6**  
in der Endphase **3\*+2**

**Diplomarbeiten und andere Studienarbeiten:** Gesamt (siehe Kap. 5.5.2, 5.5.3 und 5.5.5) **40**  
davon Diplom- / Masterarbeiten **18**  
davon Studienarbeiten **21**  
davon post-doc (DAAD) **1**

Abschluss-Symposium:	Gesamt (siehe Kap. 6.7)	<b>1</b>
IKB-Seminare:	Gesamt (siehe Kap. 6.2)	<b>20</b>
	davon mit geladenen Referenten	13
IKB-Sitzungen:	Gesamt (siehe Kap. 6.1)	<b>78</b>
	davon Statuspräsentation	4
	davon Versuchsflächenbesichtigung	4
Pressekonferenzen / Pressegespräche:	Gesamt (siehe Kap. 6.3)	<b>3</b>
Messe / Veranstaltung (Teilnahme):	Gesamt (siehe Kap. 6.5)	<b>8</b>
	davon national / international	5
	davon regional	3
Sonstige herausragende Ereignisse (siehe Kap. 6.8):	Deutscher Umweltpreis 2001 Deutschland - Land der Ideen - „Ausgewählter Ort 2006“	
Internetpräsenz : (siehe Kap. 6.6)	<a href="http://ikb.weihenstephan.de/">http://ikb.weihenstephan.de/</a>	

\*) Arbeiten im Umlaufverfahren vor dem Rigorosum

## 2 Zusammenfassung

Die Forschergruppe IKB-Dürnast arbeitete nach der Hypothese:

***"Kleinräumig differenzierte N-Düngung unter Berücksichtigung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers und der N-Aufnahme in die Biomasse erhöht auf der Basis des standortspezifischen Ertragspotentials die Ressourceneffizienz"***

und definierte dazu für Precision Farming ein neues Prozessführungssystem „Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung (Real-time approach with map overlay)“. Dazu wurden die erforderlichen Untersuchungen in 12 Teilprojekten mit den in Klammern genannten verantwortlichen Projektleitern durchgeführt:

- TP 1: Analyse und Validierung kleinräumiger Ertragsdaten (AUERNHAMMER)
- TP 2: Prozessdatenerfassung im Landwirtschaftlichen BUS-System (AUERNHAMMER)
- TP 3: Variabilität der Biomassebildung und des N-Status in Pflanzen (MAIDL)
- TP 4: Wasser- und Stickstoffhaushalt von Boden und Pflanzen als Ursachen der räumlichen Ertragsvariabilität (SCHMIDHALTER)
- TP 5: Approximation der Reflexionsfunktion landwirtschaftlicher Flächen (AMMER)
- TP 6: Entwicklung eines Informationssystems für die Erfassung und Speicherung kleinräumiger Daten (WAGNER)
- TP 7: Entwicklung eines Kostenrechnungssystems zur Auswertung kleinräumiger Daten (WAGNER)
- TP 8: Entwicklung und Test einer Realtime-Prozessführung für sensorgestützte Düngesysteme (AUERNHAMMER)
- TP 9: Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung mit berührungsloser Sensorik nach Bestandesheterogenitäten (MAIDL)
- TP 10: Skalenabhängige Validierung und Vergleich berührungsloser Sensorik bei mehrjähriger teilflächenspezifischer Bewirtschaftung (SCHMIDHALTER)
- TP 12: Überprüfung von Produktionsfunktionen und Ableitung von Entscheidungsregeln für die teilflächenspezifische Bestandesführung (WAGNER)
- TP 13: Ökologisch-ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (HEIßENHUBER)

Thematisch können diese Teilprojekte in Anlehnung an den Produktionszyklus und das Prozessführungssystem für die dazu erforderlichen Aktivitäten vier Bereichen zugeordnet werden. Dafür wurden folgende übergreifende Aussagen erarbeitet:

### 2.1 Boden und Wasser

Zur Bestimmung des volumetrischen Bodenwassergehalts wurde eine volumenbezogene Probeentnahmetechnik entwickelt. Mit der Firma Geonics wurde das EM38 zum EM38MK2 weiterentwickelt, wodurch nun oberflächennahe Messungen möglich sind. Für das kapazitive Messprinzip „Diviner“ konnten Kalibrierungen für verschiedene Böden erstellt und getestet werden.

Für die Durchführung von kontrollierten Trockenstressexperimenten wurde eine automatische „rain-shelter Anlage“ mit Bewässerungseinrichtung und automatischer Erfassung der Bodenfeuchtigkeit konzipiert. Eine Trägeranordnung ermöglicht die reflexionsbasierte, sowie laserinduzierte Chlorophyllfluoreszenz- und thermische Messungen. Eine vierseitige reflexionsbasierte Spektralsensorik ermöglicht die Einstrahlung und Reflexion multispektral im Bereich von 400-1700 nm zu erfassen und sowohl im Parzellenversuch wie schlepperbasiert einzusetzen.

Der von YARA entwickelte N-Sensor wurde in mehrjährigen Versuchen schlepperbasiert spektral im Felde validiert. Die N-Aufnahme von Weizen und Mais kann mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Der „Nitrogen Nutrition Index“ wurde erstmalig schlepperbasiert im Felde bestimmt. Nutzbare Feldkapazität und Erträge lassen sich reflexionsbasiert prognostizieren.

Die durchgeführten Feldversuche ermöglichten die Entwicklung von Bewirtschaftungsstrategien. Wasser und Stickstoff wurden als begrenzende Faktoren identifiziert. Hohertragsstandorte werden dadurch stärker als Niedrigertragsstandorte mit Stickstoff gedüngt. In mehrjährigen Feldversuchen wurden diese teilflächenspezifischen Strategien getestet, die bei reduziertem Stickstoffaufwand vergleichbare Erträge ermöglichen und zu umweltrelevanten Reduktionen von N-Verlusten beitragen.

## 2.2 Biomasse

Zur Erfassung des Biomasseaufwuchses wurde ausschließlich auf berührungslose Messverfahren zurückgegriffen.

Über den Vergleich bodengestützter und satellitengetragener Reflexionsmessungen konnte gezeigt werden, dass die Qualität der feldspektroskopisch erhobenen Daten für die Korrektur von radiometrischen Einflüssen in Fernerkundungsdaten im „mapping approach“ ausreichend ist. Dadurch scheint die Grundvoraussetzung für die Korrektur von Fernerkundungsdaten erfüllt, die mit „off nadir“ Blickwinkeln erfasst werden. Dieses betrifft sowohl Flugzeugscanner wie auch die neue Generation sehr hoch auflösender satellitengetragener Sensoren, deren Vertreter Ikonos und Quick Bird Aufnahmen mit Blickwinkel von ca.  $\pm 40^\circ$  anbieten.

Dieses Ergebnis kann jedoch nicht bedenkenlos auf den „Sensor-Ansatz“ übertragen werden. Dabei zeigten destruktive Begleitmessungen zur Bestimmung von Bestandesparametern in der Regel ein ungenaueres Ergebnis mit größerer Streuung gegenüber der Ableitung über die integralen Signale der feldspektroradiometrischen Messungen. Zudem konnten weitere unabdingbare Informationen für die Reflexionsmodellierung, wie z.B. die Blattflächenausrichtung (BFA) überhaupt nicht erfasst werden.

Zur Erfassung des Biomasseaufwuchses und des Stickstoffstatus wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (Winterweizen, Wintergerste, Mais, Kartoffeln) wurde auf ein Zweikanalspektrometer mit einer Auflösung von 360 bis 1050 nm zurückgegriffen. Bei

Getreide und Kartoffeln erwies sich der Reflexionsindex REIP und bei Mais IRI1 (740/730) bzw. IRI2 (740/720) als die am besten geeigneten Indices für den Biomasseaufwuchs und die N-Aufnahme. Besondere Vorzüge dieser Indizes sind der geringe Sättigungseffekt im Bereich hoher Biomasseaufwüchse, deren Stabilität gegenüber sich ändernden Einstrahlungsbedingungen und eine weitgehende Unabhängigkeit vom Habitus der Pflanzen. Als Störgröße erwies sich der Bodeneinfluss bei kleinen Pflanzen mit geringer Bodenbedeckung. Diese ließ sich durch Änderung des Sensorblickwinkels bei Getreide weitgehend ausschalten. Hingegen verursacht sie in Reihenkulturen (Kartoffeln und Mais) in sehr frühen Entwicklungsstadien eine nicht ausreichend genaue Charakterisierung der erforderlichen Kenngrößen.

Eine besonders hohe N-Düngeeffizienz war bei Getreide immer dann gegeben, wenn in Abhängigkeit des teilflächenspezifischen Ertragspotentials in den einzelnen EC-Stadien charakteristische optimale N-Aufnahmewerte erreicht wurden. Dafür wurde ein spezifisches N-Düngesystem entwickelt.

### 2.3 Prozesssteuerung

Der Prozesssteuerung obliegt im definierten Forschungsansatz die Informationsgewinnung in technischen Systemen, deren Bereitstellung für das Informationssystem und die Umsetzung des Forschungsansatzes in einem Applikationssystem. Alle dazu erforderlichen Arbeiten konnten zielorientiert und zeitgerecht durchgeführt werden. Die erzielten Ergebnisse sind 4 Leuchtturmergebnissen zuzuordnen:

Mit der Umsetzung der mobilen elektronischen Kommunikation nach DIN 9684 (LBS) und ISO 11783 (ISOBUS) in ein „Open Source Modell“  $LBS_{Lib}$  und  $ISO_{AgLib}$  gelang erstmals weltweit die Nutzung der Open Source Idee in der Landtechnik und Landwirtschaft. Damit wird es möglich, die Kommunikation in Prozesssteuerungssystemen ohne spezifische Kenntnisse der jeweiligen Norm in kurzer Zeit fehlerfrei und mit geringen Kosten zu implementieren.

Aufbauend auf die  $LBS_{Lib}$  wurde ab 1999 ein betriebsumfassendes *automatisches Prozessdatenerfassungssystem* konzipiert und ab 2000 auf der Versuchsstation Dürnast installiert. Die damit erfassten Daten bildeten eine wichtige Grundlage für das Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung. Mit der Erweiterung des Systems auf eine Web-basierte Datenhaltung und Datenanalyse konnten zudem die Voraussetzungen für eine einfache Übertragung in andere Betriebe, andere Betriebsformen und in die allgemeine Dokumentation mit Rückverfolgbarkeit in der Produktkette geschaffen werden. Das Forschungsvorhaben wurde damit zur international anerkannten Keimzelle der automatischen Prozessdatenerfassung.

Ebenso erfolgreich waren die Arbeiten zur *Ertragskartierung*. Mit der Untersuchung der Messgenauigkeit im Prüfstand unter definierten Durchsatzbedingungen konnten die Sensorinternen Schwächen aufgezeigt und die zu erwartenden Messfehler quantifiziert werden. Die Einbeziehung der in Feldversuchen ermittelten GPS-Ortungsfehler in eine dreistufigen Kartierungsalgorithmus führten bisherige Ansätze auf diesem Gebiet zusammen

und verbesserten die Kartierung beträchtlich. Schließlich wurden durch den „Butterfly Cone Fitting Algorithmus“ die anisotropen Merkmalsausprägungen von Ertragsmessdaten erstmals realitätsnah interpretiert und damit schon bekannte Algorithmen weiter entwickelt und verbessert. Der in die Wege geleitete Ansatz für eine ISO-Norm zur Ertragsermittlung und Ertragskartierung könnte erstmals vergleichbare Aussagen im Hinblick auf unterschiedliche Ertragsmesssysteme und Fruchtarten erbringen.

Ein weiterer Meilenstein gelang mit den grundlagenorientierten Arbeiten zur „*Multi-Sensor Data Fusion*“ in einer standardisierten elektronischen Kommunikation nach LBS und ISOBUS. Dafür wurden die theoretischen Grundlagen erarbeitet und im Kontext mit verfügbaren Ansätzen in ein Modell überführt. Die Implementierung in Form einer Simulation rundete die Arbeiten ab und belegte an Messergebnissen, dass dieser Ansatz unter Echtzeitbedingungen realisiert werden kann.

## 2.4 Ökonomie und Ökologie

Letztlich muss der Forschungsansatz mit seinen Ergebnissen im Hinblick auf die Forderungen der Ökonomie und Ökologie bestehen können. Beide verlangen als Basis für die Beherrschung der Precision Farming Technologie ein Informationsmanagement aus einem Guss. Es muss in der Lage sein, alle automatisch erfassten Daten redundanzfrei zur Verfügung zu stellen. Ein den Anforderungen entsprechender Prototyp für eine gesamtbetriebliche Datenbank mit GIS-Funktionen wurde entwickelt. Betriebswirtschaftlich und für die Akzeptanz entscheidend ist die ökonomische Vorzüglichkeit von Precision Farming im Einzelbetrieb. Um eine solche Beurteilung zu ermöglichen, ist im Projekt eine teilflächenspezifische Kosten-Leistungsrechnung entwickelt worden, die durch automatische Datenübernahme von teilflächenspezifischen Daten, die ihrerseits automatisch über Sensoren erhoben werden, gestattet, einerseits eine jede Teilfläche gesondert auf Wirtschaftlichkeit zu überprüfen, andererseits aber auch wirtschaftliche Aussagen für den gesamten Schlag zu treffen.

Die Bewertung von Precision Farming zeigt positive Ergebnisse sowohl im Bereich der Ökonomie als auch der Umweltwirkung, dies umso mehr, je heterogener die Bewirtschaftungsflächen sind. Diese Ergebnisse zeigen aber auch, wie sehr die Aussagen zur Ökonomie und zur Umweltwirkung von den zu Grunde gelegten Entscheidungsregeln beeinflusst werden. Hier herrschte bisher großer Mangel. Für Precision Farming nutzbare Entscheidungsregeln müssen automatisierbar sein und von Informationen geleitet werden, die kostengünstig (und damit vor allem automatisch über Sensoren) zu erfassen sind. Solche Regeln wurden erstmals auf dieser Basis entwickelt. Die Ergebnisse sind nicht nur ermutigend, sondern durchaus als bahnbrechend, vor allem in methodischer Hinsicht, zu bezeichnen. Diese Aussage gilt sowohl im nationalen wie auch im internationalen Kontext.

Die Ergebnisse sind bisher auf einem Standort und in einer Vegetationsperiode validiert worden und haben das enorme wirtschaftliche Potenzial des Precision Farming nach dem „Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung“ bestätigt.

## 3.1 Boden und Wasser (U. Schmidhalter)

### *Allgemeine Ziele*

- Überprüfung der Hypothese, ob durch eine teilflächenspezifische Produktionstechnik die Bewirtschaftung entsprechend der vorliegenden Heterogenität ökologisch und ökonomisch optimiert werden kann.
- Ziel der kleinräumigen Bestandesführung ist eine dem Standort und der Jahreswitterung angepasste N-Düngung der Pflanzen und nicht eine Angleichung der natürlichen Ertragsvariabilität.
- Entwicklung von Strategien für eine kleinräumige Bestandesführung basierend auf Bodenkarten, langjährigen Ertragsmustern und Echtzeitinformationen des Biomasse- und N-Status der Pflanzen.

### *Spezifische Ziele*

- Untersuchung der räumlichen Ertrags- und Wachstumsvariabilität der Pflanzen hinsichtlich der ursächlichen Beziehung zur Variabilität in der Wasser- und Stickstoffversorgung (*Promotionsarbeit Geesing*).
- Entwicklung bzw. Verbesserung von Methoden, die basierend auf berührungsfreien Naherkundungsmethoden ertragsbestimmende Parameter der Stickstoff- und Wasserversorgung beschreiben. Beschreibung von Bodenparametern (Textur und Wasserstatus) und Pflanzeigenschaften (N-Status, Biomasse, N-Aufnahme, Wasserstatus) durch Naherkundungsmethoden (*Promotionsarbeit Mistele; Masterarbeit Jungert; Masterarbeit Erdle*).
- Auswirkungen mehrjähriger ortsfester Bewirtschaftung auf die teilflächenspezifische Bewirtschaftung in reliefbetontem Gelände.

### 3.1.1 Vereinfachte Erfassung der Bodenvariabilität bzw. des Bodenwassergehaltes

Voraussetzung für die Durchführung der Untersuchungen war die Charakterisierung der standörtlichen Bodenheterogenität, da auf drei von vier Hauptuntersuchungsschlägen keine Ertragskarten vorlagen. Die von TP4 durchgeführten Bodenuntersuchungen erlaubten die Abgrenzung von Niedrig- und Hohertragsstandorten basierend auf einer kleinräumigen Bodenkartierung. Zugleich dienten die Daten der Validierung der geophysikalischen Untersuchungen.

Die geophysikalische Induktion als vereinfachte Methodik zur berührungsfreien Erfassung von Bodenunterschieden konnte weiterentwickelt werden. Als Basisdaten für die Validierung wurden Informationen zur Textur des Bodens, des Bodenwassergehalts und der elektrischen Leitfähigkeit der Bodenlösung verwendet. Korrelationsrechnungen wurden für die Gesamttiefe wie auch für die drei Bodentiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm durchgeführt. Der Tongehalt und der Wassergehalt in 0-90 cm Bodentiefe korrelierten am engsten mit der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit mit  $R^2$ -Werten zwischen 0.31-0.61 bzw. 0.31-0.64. Der Tongehalt korrelierte relativ eng mit dem Bodenwassergehalt. Andere Bodenparameter wie der Schluff- und Sandgehalt oder die elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung waren im Allgemeinen nicht mit der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit korreliert. Die im

horizontalen und vertikalen Modus durchgeführten Messungen korrelierten sehr eng miteinander ( $r^2=0.93$ ).

Ergänzende Untersuchungen haben gezeigt, dass Veränderungen des Wassergehalts bzw. der Bodensaugspannung nicht in einer eindeutigen Beziehung zu den Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit stehen. Bei mitteltexturierten Böden in relativ humiden Gebieten ergeben sich häufig nur geringe Wassergehaltsveränderungen in der Größenordnung von wenigen Volumenprozenten. Die elektromagnetische Induktion eignet sich somit nicht als Methode zur dynamischen und differenzierten Beschreibung von Wassergehaltsänderungen im Boden.

Das Hauptpotenzial der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit liegt in der Möglichkeit, Managementeinheiten vereinfacht abzugrenzen. Zusätzlicher Forschungsbedarf ist gegeben, um bessere mechanistische Vorstellungen über die Zusammenhänge der Einflussfaktoren zu erhalten wie auch ein besseres Verständnis der Tiefenauflösung zu entwickeln.

In diesem Teilvorhaben durchgeführte Entwicklungsarbeiten haben gezeigt, dass eine vereinfachte Bestimmung von Kalibrierungsparametern vor Ort mit deutlich weniger Aufwand möglich ist. Die elektrische Leitfähigkeit der Bodenlösung konnte mit einer Sonde direkt in Bohrkernen oder Bodenproben gemessen werden. Eine einfache Handsonde wurde entwickelt, die es erlaubt, volumetrische Bodenproben bis in 60 cm Tiefe verlässlich zu entnehmen. Hydraulische Bohrvorrichtungen ermöglichen es volumenbezogene Probenentnahmen bis 1 m Tiefe durchzuführen. Mit dieser Information und einer vereinfachten in-situ Messung des Wassergehalts basierend auf TDR-Prinzipien kann die Trockenraumdichte abgeleitet werden. Diese Information war bisher nur mit sehr großem Aufwand beschaffbar.

Im Gegensatz zu Prinzipien die auf Gleichstromelektrik basieren können mit geophysikalischer Induktion keine tiefenaufgelösten Informationen erhalten werden. Obschon dies prinzipiell nicht ausgeschlossen ist, wurde dies bis heute technisch nicht befriedigend gelöst. Einen wesentlichen Schritt in eine differenzierte Betrachtung tiefenaufgelöster geophysikalischer Messungen ist durch die im Rahmen des IKB in Zusammenarbeit mit der Fa. Geonics initiierte Entwicklung eines Geräts, das Spulenabstände von 50 cm und 100 cm aufweist, ermöglicht worden und stellt weltweit eine Novität dar. Damit ist ein differenziertes Signal aus verschiedenen Tiefen erhältlich und der engere Spulenabstand bietet Chancen gezielt Oberbodeninformation zu erfassen. Diese ist speziell auch für eine teilflächenspezifische Bodenbearbeitung erforderlich. Vergleichsmessungen mit verschiedenen anderen geelektrischen Messsystemen haben eine gute Übereinstimmung zwischen der Information des neuentwickelten Messsystems (EM38MK2) und Gleichstrommessungen in definierten Tiefen aufgezeigt. Damit ergibt sich ein vorzügliches Potenzial für weitergehende Untersuchungen. Weitere Vergleichsmessungen werden zurzeit ausgewertet.

Zur direkten Messung der Veränderungen des Bodenwassergehalts wurde ein neues kapazitives Prinzip (EnvironSCAN, Diviner; Sentek, Australien) eingesetzt. In diesem

Vorhaben sind erstmals Kalibrierungskurven für nichtstationäre, zeitlich punktuell eingesetzte Diviner-Messungen verschiedener Böden beschrieben worden. Zusätzlich wurden ergänzende Kalibrierungskurven auch für das stationäre, kontinuierlich messende EnviroSCAN-Messprinzip bestimmt. Damit kann der Bodenwassergehalt zerstörungsfrei dynamisch punktuell erfasst werden.

Wie die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen aufzeigen wird die Ertragsleistung auch im Tertiärhügelland wesentlich durch das Angebot an Wasser beeinflusst. Dieses resultiert aus dem bodenbürtigen Angebot an Wasser und den Niederschlägen. Mit Hilfe von Fernerkundungssensoren, die im Nahinfrarot oder thermalen Bereich arbeiten, kann über die spektrale Signatur der Pflanzen das bodenbürtige Standortpotenzial abgeleitet werden. Eine wesentliche Komponente davon bildet die nutzbare Feldkapazität, die auf den untersuchten Standorten in einem relativ engen Bereich zwischen 100-180 mm variiert. Im Rahmen des IKB ist nun erstmals mit naherkundlichen, reflexionsbasierten Spektraluntersuchungen basierend auf dem Prinzip des N-Sensors, ein enger Zusammenhang zum bodenbürtigen Angebot an Wasser aufgezeigt worden. Damit können terrestrische Messungen unter Nutzung vorhandener, kommerziell verfügbarer Technologien zur Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität durchgeführt werden. Dies stellt eine wesentliche Vereinfachung in der Beschreibung von Standortpotenzialen dar. Mit schlepperbasierten Spektrosensoren können hohe Flächenleistungen erzielt werden. Für die Umsetzung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen genügt häufig eine relative Differenzierung von Standortunterschieden. Für absolute Beschreibungen sind zusätzliche Kalibrierungen an ausgewählten Standorten durchzuführen.

### 3.1.2 Einfluss der Variabilität in der Wasser- und Stickstoffversorgung auf die Ertragsleistung von Winterweizen

Die intensiven Boden- und Nährstoffuntersuchungen erlauben die Formulierung der Hypothese, dass andere Grundnährstoffe außer Stickstoff die teilflächenspezifische Ertragsleistung mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht beeinflussen. Somit kann die Grundhypothese dieses Teilprojektes überprüft werden, dass Stickstoff und Wasser häufig die ertragslimitierenden Größen darstellen.

Während die Bedeutung des Wassers in der Beeinflussung der Ertragsleistung in trockeneren Gebieten nahe liegt, ist die Bedeutung dieses Faktors in humideren Gebieten mit Niederschlägen um 800 mm weniger bekannt. Versuchstechnisch ist dies sehr viel schwieriger abzuklären, da Trockenperioden nicht vorhergesagt werden können.

Aus diesem Grunde ist eine zweifaktorielle, randomisierte Versuchsanlage auf Hoch- und Niedrigertragsstandorten mit Winterweizen angelegt worden. Zur besseren Steuerung der Wasserversorgung wurde Niederschlagswasser mit einer temporären Überdachung der Versuchspartellen fern gehalten bzw. Wasser gezielt mit Tröpfchenbewässerung zugeführt.

Die Ergebnisse der zweijährigen Untersuchungen zeigen, dass Wasser und die Stickstoffversorgung in unterschiedlichem Maße die Ertragsleistung auf Standorten mit

niedriger Feldkapazität (Niedrigertragsstandort) und hoher Feldkapazität (hohe Ertragsleistung) beeinflussen. Auf dem Standort mit der niedrigen Feldkapazität wurde die Ertragsleistung nur durch die Wasserversorgung signifikant beeinflusst, während auf dem Standort mit der hohen Feldkapazität die Stickstoffversorgung den Haupteinflussfaktor der Ertragsleistung darstellte (Abb. 3.1.1). Da diese Ergebnisse in unterschiedlichen Jahren bestätigt wurden, können eindeutige Strategien für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung abgeleitet werden. Stickstoff wird primär den Hohertragsstandorten zugeführt und zurückhaltend auf den Niedrigertragsstandorten eingesetzt. Damit lässt sich eine Optimierung der Ertragsleistung erreichen und ein umweltrelevanter Vorteil der teilflächenspezifischen N-Düngung postulieren. Dieser teilflächenspezifische Algorithmus unterscheidet sich prinzipiell vom Düngungsalgorithmus, der beispielsweise im N-Sensor implementiert ist. Letzterer beinhaltet eine Förderung schwächerer Bestände bis EC55. Damit können zwar leichte Ertragsvorteile auf Niedrigertragsstandorten erreicht werden, umweltseitig kann dies aber zu höheren Stickstoffverlusten beitragen.

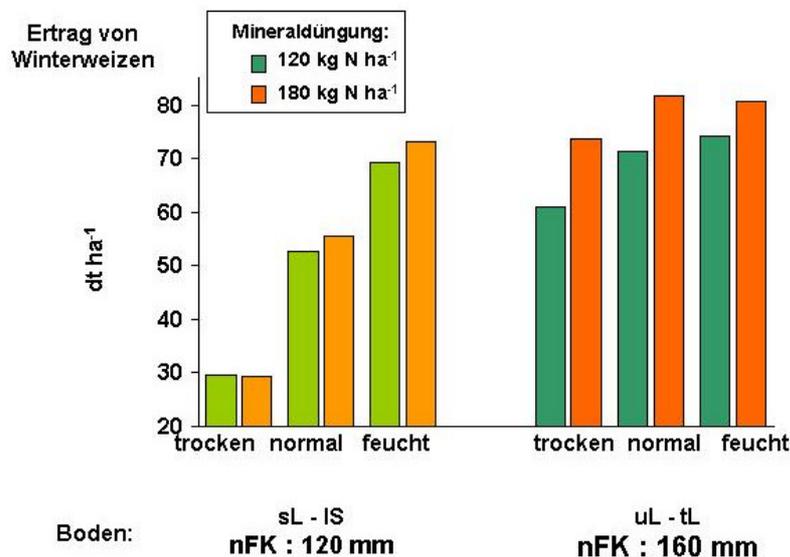


Abbildung 3.1.1: Einfluss der Wasserversorgung (Trockenstress, normale Niederschläge, Zusatzbewässerung) und der Stickstoffversorgung (120 kg bzw. 180 kg N ha<sup>-1</sup>) auf den Ertrag von Winterweizen auf zwei Standorten mit unterschiedlicher nutzbarer Feldkapazität (nFK)

### 3.1.3 Erfassung des Pflanzenwasserstatus

Obschon zeitliche Veränderungen des Bodenwassergehalts mit hoher Auflösung verlässlich erfasst werden können, bleiben diese auf punktuelle Untersuchungen beschränkt, die für Kalibrierungen unabdingbar sind. Wünschenswert wäre es aber für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung flächige Informationen zu bekommen, die mit weniger Aufwand gewonnen werden können. Zwischen dem Bodenwasserstatus und dem Pflanzenwasserstatus bestehen Wechselbeziehungen wie aus den Arbeiten zur Ableitung der nutzbaren Feldkapazität aufgezeigt wurde. Der Wasserstatus der Pflanzen beeinflusst direkt die spektrale Signatur. Der Wasserstatus der Pflanzen kann sich störend auf die spektrale

Erfassung des N-Status auswirken. Trockengestresste Pflanzen können eine intensivere Grünfärbung aufweisen, die als erhöhter N-Versorgungsgrad interpretiert werden kann.

Der Wasserstatus der Pflanzen wie auch der Biomassestatus der Pflanze kann genutzt werden, um Rückschlüsse auf das bodenbürtige Standortpotenzial wie auch den aktuellen Zustand der Pflanzen zu gewinnen. Aus diesem Grunde haben sich die Untersuchungen auch mit der Erfassung des Wasserstatus der Pflanzen beschäftigt. Bisherige destruktive Messungen des Wasserstatus der Pflanzen (Gravimetrie, Scholanderbombe) sind mit hohem Aufwand verbunden und können nur punktuell durchgeführt werden. Erwünscht ist somit eine nicht-destruktive Messung des Wasserstatus der Pflanzen oder die Erfassung einer korrelierenden Größe zum Wasserstatus. Terrestrische Erfassungen der Oberflächentemperatur haben sich bisher nicht durchgesetzt, da die zeitliche Variabilität von zahlreichen Umweltfaktoren beeinflusst wird. Ein höheres Potenzial weisen diesbezüglich thermale Erfassungen mit flugzeug- oder satellitengetragenen Sensoren auf, die eine größere Fläche in kürzerer Zeit erfassen.

Möglichkeiten zur Erfassung des Wasserstatus (Wasserpotenzials) mit reflexionsbasierten spektralen Untersuchungen sind in der Literatur aufgezeigt worden und waren Ausgangspunkt dieser Untersuchungen. In Voruntersuchungen konnten wir dies unter kontrollierten Bedingungen belegen, indem bei verschiedenen Wellenlängen relativ enge Zusammenhänge zum Wasserpotenzial gefunden wurden. Diese Zusammenhänge waren bei Messungen in bepflanzten Töpfen enger als auf dem Niveau des Einzelblattes. Da diese Untersuchungen nicht mit dicht bewachsenen Beständen durchgeführt wurden, konnte keine eindeutige Abbildung des Wasserstatus von Pflanzenoberflächen erreicht werden. Zu diesem Zweck sind spätere Untersuchungen bestandesähnlich in Kistenversuchen durchgeführt worden. Standardisierte Voraussetzungen konnten geschaffen werden, die eine einwandfreie Vergleichbarkeit erlauben. Untersuchungen mit trocken-gestressten und gut bewässerten Pflanzen zeigten, dass sich die Differenzierung der spektralen Signaturen in den Wasserabsorptionsbanden des nahen Infrarots mit zunehmendem Stress erhöht. Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen in einer Klimakammer zeigen, dass Wellenlängen bei 2000 nm die engsten Zusammenhänge aufwiesen. In diesen und anderen Untersuchungen ergab sich jedoch auch ein enger korrelativer Zusammenhang zwischen der Biomasse und dem Wasserstatus der Pflanzen. Der Aspekt der Differenzierbarkeit zwischen Biomasse (und damit dem Wassergehalt) und dem Wasserpotenzial ist unseres Wissens bisher in keinen Untersuchungen auf dem Bestandesniveau abgeklärt worden und erlaubt damit nicht eine eindeutige Trennung zwischen diesen zwei Parametern. In Vorarbeiten sind die experimentellen Voraussetzungen geschaffen worden, die eine Trennung ermöglichen (Ruthenkolk et al., unveröffentlicht).

Für die Kalibrierung der mit einem handgehaltenen Spektrometer (GER 3700) durchgeführten Messungen wurde ein Spektralonstandard eingesetzt. Die Ergebnisse aus den Felduntersuchungen zeigen, dass ein extrem häufiger Abgleich erforderlich ist, um verlässliche Ergebnisse zu bekommen. Ein zeitgleicher Abgleich der einfallenden und der reflektierenden Strahlung war bisher messtechnisch nicht möglich. Aus diesem Grunde wurde eine neue Sensorik für den sichtbaren und nahen Infrarotbereich entwickelt, die eine

zeitgleiche Erfassung der spektralen Information der Pflanzenbestände und der Atmosphäre erlaubt. Paralleluntersuchungen mit einem vergleichbaren Messgerät (GER 3700) haben gezeigt, dass auch baugleiche Systeme nicht für diese Parallelerfassung eingesetzt werden können. Dies wird wesentlich durch die erforderliche Sensitivität der Messung bei niedriger Reflexion und das damit zusammenhängende Signal/Rausch-Verhältnis bestimmt. In Felduntersuchungen konnten zudem deutliche Abhängigkeiten der Reflexion vom Zenitwinkel, dem Blickfeld und den Witterungsbedingungen nachgewiesen werden. Im Rahmen des IKB durchgeführte Entwicklungsarbeiten haben dazu beigetragen, dass nun ein mit einer vierseitigen Optik ausgestattetes Spektrometersystem zur Erfassung der reflektierten Strahlung verfügbar ist, das zugleich auch unabhängig davon die einfallende Strahlung misst. Die zwei entwickelten Aufbauten ermöglichen schleppergeführte Messungen und kleinräumigere Messungen mit variabel verstellbarem Winkel der eingesetzten Lichtleiter. Mit diesem Aufbau können auch Messungen auf dem Niveau der Einzelparzelle durchgeführt werden. Dieser Systemaufbau ermöglicht spektrale Messungen im Bereich von ca. 400 bis 1700 nm. Die entwickelte Gerätekonfiguration arbeitet wesentlich unabhängiger von den Einstrahlungsbedingungen als bisherige handgehaltene einkanalige oder zweikanalige Spektrometer. Weitere Optimierungen sind jedoch im höherwelligen Nahinfrarotbereich in der Erfassung der relativ niedrigen Signalintensität durchzuführen. Trotzdem konnten aufgrund der bisherigen Messungen erste interessante Ansätze in der Bewertung spektraler Signaturen zur Erfassung des Wasserstatus realisiert werden. Die Messungen im Nahinfrarot wurden zeitgleich mit thermalen Messungen kombiniert.

Zuvor durchgeführte Freilanduntersuchungen, in denen Trockenstress mit Hilfe von Abdeckungen der Pflanzenbestände realisiert wurden, haben einen enormen Zeitaufwand erfordert und zudem war eine Prognose des Zeitpunktes und der Intensität des Trockenstresses nicht möglich. Als Weiterentwicklung ist eine rain-shelter Anlage konzipiert worden, die es ermöglicht bei Niederschlag eine automatische Abdeckung der Pflanzen zu erreichen (Abb. 3.1.2). Mit Hilfe von automatischen Bewässerungseinrichtungen kann zu beliebigen Zeitpunkten in Kleinparzellen eine gewünschte Wasserversorgung erreicht werden.

Das Gesamtsystem, das es ermöglicht, nicht-destruktiv und kontinuierlich die Veränderungen des Bodenwassergehalts aufzuzeichnen, sowie berührungslos Pflanzenbestände spektral im Bereich von 400 nm bis 1700 nm zu erfassen, stellt eine einzigartige Plattform dar, die zu wesentlichen Weiterentwicklungen beitragen sollte. Zurzeit wird an der Erweiterung des spektralen Bereichs bis 2500 nm und der Bereitstellung eines pulsmodulierten Messsystems gearbeitet, das eine Unabhängigkeit von der Einstrahlungssituation ermöglichen soll. Während bisherige Messungen im Nahinfraroten Bereich weitgehend auf Schönwetterbedingungen um die Mittagszeit beschränkt waren, konnte dieser Zeitbereich bereits wesentlich erweitert werden.



Abbildung 3.1.2: Rain-shelter Anlage mit automatischer Bewässerung und kontinuierlicher Erfassung des Bodenwassergehalts. Auf einem mobilen Trägersystem können verschiedene spektrale Sensoren angebracht werden

### 3.1.4 Flächenhafte Erfassung der Biomasse, des Stickstoffstatus und des Ertrags von Winterweizen und Mais

Mit der Verfügbarkeit eines kommerziell erhältlichen Sensors (YARA N-Sensor) zur Erfassung des Stickstoffstatus konnten erstmalig gezielt flächendeckende Erhebungen des N-Status und des Biomasse-Status durchgeführt werden bzw. diese Information direkt in Managementstrategien umgesetzt werden. Der YARA N-Sensor liefert ein Abbild des N-Status der Vegetation, das jedoch vom werkseigenen Düngungsalgorithmus überlagert ist. Direkte Vergleichsmessungen mit der Biomasse bzw. dem N-Status konnten erstmalig in 2001 durch Freischaltung von fünf beliebig wählbaren Spektralkanälen durchgeführt werden. Ähnlich wie bei den Wasserstatusuntersuchungen zeigte sich, dass eine eindeutige Trennung zwischen Biomasse und N-Status (N-Gehalt) häufig nicht möglich ist. Für Vergleichsuntersuchungen erwies sich die bestehende Sensoranordnung als nicht ideal, da es aus messgeometrischen Gründen sehr aufwendig ist sensorische und destruktive Messflächen in Übereinstimmung zu bringen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Messungen und auch als Kompromiss mit der bodeninherenten Variabilität, wurde eine Sensoranordnung entwickelt, die eine viel gezieltere Bewertung von Streifenversuchen und entsprechende Vergleichsmessungen erlaubt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind beschrieben worden. Zusätzlich wurde eine Messanordnung entwickelt, die es auch ermöglicht, in hohen Maisbeständen Messungen durchzuführen. Ein wesentliches Ziel dieser Arbeiten war es Alternativen zur aufwendigen Biomassebeprobung zu finden. Diese bilden die Voraussetzung für die Bewertung von Streifenversuchen. Da erzielbare Vorteile sich häufig bspw. bei Weizen in einer Spannweite von 10 dt/ha bewegen, ist eine entsprechend

genaue Erfassung notwendig. Dies gilt sowohl für vegetative Stadien wie auch den Erntezeitpunkt.

Zur Validierung der spektralen Messungen wurden anfänglich kleinflächige Biomasseschnitte durchgeführt. Obschon versucht wurde, diese in den spektralen Messfeldern des N-Sensors durchzuführen, war der Aufwand enorm hoch und die Validierungsarbeiten zeigten die Einschränkungen kleinflächiger Biomasseschnitte bei eher großflächigen spektralen Messungen mit dem N-Sensor. Als wesentliche Optimierung wurde ein Verfahren entwickelt, das flächentreue Erfassungen der Biomasse in Übereinstimmung mit den spektralen Messfeldern ermöglicht. Für die Biomasseerhebung wurde ein Grünfütterhäcksler mit automatischer Verwiegungseinrichtung eingesetzt. Damit konnte nicht nur ein präzises Abbild der Biomasse erreicht werden, sondern diese Information auch effizient gewonnen werden. Die dadurch erreichte optimale großflächigere Validierung der spektralen Messungen hat wesentliche Verbesserungen gegenüber bisherigen Ansätzen ermöglicht.

Im Teilprojekt 10 wurde die Weiterentwicklung und vertiefte Validierung berührungsloser Sensorik auf Feldebene zur Erfassung der Variabilität von Pflanzenbeständen durchgeführt. Es sollte die Güte der Erfassung der Biomasse, der N-Aufnahme, des N-Gehalts und des N-Status mit Sonnenlicht-Reflexion basierten Spektralmessungen erfolgen mit dem Ziel, Düngungsmaßnahmen auf heterogenen Standorten gezielt teilflächenspezifisch den Umweltbedingungen anzupassen. Bisherige Untersuchungen zur Bestimmung des N-Status mittels Spektralmessungen wurden meist im Nadir mit handgehaltenen Sensoren auf homogenen Standorten durchgeführt. Messungen im Nadir sind aber wegen der wechselnden Beschattung im Bestand abhängig vom Zenitwinkel der Sonne (Reusch, 2003). Daher wurde in der Versuchsanstellung ein Sensor mit einer vierseitigen Messoptik verwendet. In bisherigen Versuchen wurde meistens auf homogenen Flächen die ausgebrachte N-Düngungsmenge variiert (Schächtel, 2004). Ergänzende Untersuchungen wurden deshalb auf heterogenen Standorten mit Winterweizen und Mais durchgeführt. Außerdem wurde die Skalenabhängigkeit der kleinräumigen Bestandesentwicklung ermittelt und die Möglichkeit der Ertragsabschätzung durch Spektralmessungen überprüft.

Versuchsaufbau: Die Versuche wurden auf Flächen der Versuchstation Dürnast in Freising durchgeführt. Für die Versuchsflächen wurden Standorte aus dem Tertiärhügelland mit wesentlichen Bodenunterschieden und wechselnden Hangneigungen ausgewählt. Die Flächen bestanden größtenteils aus Lösslehm mit unterschiedlichen Anteilen an Sand oder Skelett und enthielten teilweise Sandlinsen und Kolluvien. In einem dreijährigen Versuch von 2002 bis 2004 wurden als Versuchspflanzen Mais und Weizen angebaut. Die untersuchte Fläche bei Mais umfasste 3.8 ha. Um Unterschiede im N-Status und der Biomasse zu vergrößern wurden die Saatstärke und die N-Düngung variiert. Es wurden drei Saatstärken mit 6, 10 und 14 Pflanzen je m<sup>2</sup> angelegt und fünf N-Düngungsstufen mit 0, 70, 120, 170, und 220 kg N je ha in einer Gabe mit stabilisierten Düngern zu Vegetationsbeginn ausgebracht. Der Versuchsaufbau wurde vierfach wiederholt.

Beim Weizenversuch wurde nur die N-Düngungsintensität variiert, da durch die Bestockung Unterschiede in der Saatstärke weitgehend ausgeglichen werden. Es wurden 0, 90, 130, 170 und 210 kg N je ha ausgebracht. Die Düngung wurde in vier Gaben aufgeteilt. Der Versuch war 2 bis 3,5 ha groß und wies 5 bis 11 Wiederholungen auf. Die Parzellen waren 15 m breit und wiesen bei Mais eine Länge von 40 m und bei Weizen von 60 m auf. Für alle drei Versuchsjahre wurde bei beiden Kulturen die gleiche Sorte verwendet.

Spektrale Reflexionsmessungen: Für die Reflexionsmessungen wurde ein Feldspektrometer der Firma YARA eingesetzt. Eine Voraussetzung für erfolgreiche Spektroskopie sonnenlichtbasierter Reflexionsmessungen ist die simultane Messung der einfallenden Sonnenstrahlung und der Bestandesreflexion, da die Lichtverhältnisse im Freiland häufig stark wechseln (Major et al., 2003). Deshalb wurden bei diesem Sensor simultane Messungen durchgeführt. Da Pflanzenbestände keine Lambertschen Reflektoren sind, ändert sich ihr Reflexionsverhalten mit verändertem Zenitwinkel (Reusch, 1997). Bei diesem Sensor wurde deshalb eine vierseitige Messoptik realisiert. Dabei sind vier Einkoppelungsoptiken an allen vier Ecken des Sensors in einem Winkel von ca. 90° zueinander angebracht. Diese Optiken sind mit ca. 60° auf den Pflanzenbestand gerichtet. Damit ist immer mindestens eine Optik auf die Sonnenseite der Pflanzenbestände gerichtet und mindestens eine auf die Schattenseite. Mit einem vier in eins Lichtwellenleiter werden die Signale optisch zusammengeführt und damit ergibt sich ein stabiles Signal, welches bis zu einem Zenitwinkel von 25° weitgehend unabhängig vom Sonnenstand ist. Da die Kosinus Korrektur der Globalstrahlungsoptik nicht vollständig einwandfrei arbeitete wies das Signal leichte Schwankungen bei verändertem Zenitwinkel auf. Eine Kalibrierung des Systems war nicht möglich, da Reflexionsstandards nur im Nadir oder bis maximal 30° konsistente Ergebnisse liefern, die Sensoroptiken aber mit einem größeren Winkel am Sensor montiert sind.

Der neu entwickelte Sensor beinhaltet zwei Spektrometer der Firma Zeiss und erlaubt Messungen im Wellenlängenbereich von 400 bis 1100 nm. Der im YARA N-Sensor verwendete Spektralindex ist nicht bekannt. Die Firma YARA ermöglichte es aber in den Jahren 2002 und 2003 fünf Wellenlängen für die Reflexionsmessung auszuwählen. Im Jahr 2003 wurde dann ein Sensor mit einer anderen Elektronik und Software entwickelt und aufgebaut, der es ermöglichte multispektrale Messungen im Bereich von 400 bis 1100 nm durchzuführen.

Der Sensor wurde 2 m über dem Bestand geführt. Daraus ergab sich ein Messfeld von vier Ellipsen mit 1,3 m Länge und zusammen 5 m<sup>2</sup> Messfläche. Durch die Fahrbewegung des Traktors resultierte ein Messstreifen zu beiden Seiten der Fahrspur mit einem Abstand von 6 m zueinander. Zur Bestimmung der Biomasse und des N-Status wurde bei 550, 670, 700, 740, und 780 nm gemessen. Daraus wurden die folgenden Indizes berechnet; REIP, NDVI,  $R_{780}/R_{550}$ ,  $R_{780}/R_{670}$ ,  $R_{780}/R_{700}$  und  $R_{780}/R_{740}$ . Die Messungen wurden zu verschiedenen Witterungsbedingungen und Tageszeiten durchgeführt bis zu einem Zenitwinkel von 25° und nicht nur bei vollem Sonnenschein um die Mittagszeit, wie bei vielen handgehaltenen Spektrometern gefordert (Major et al., 2003).

In den vom Spektrometer gemessenen Streifen auf beiden Seiten der Fahrspur wurde durchschnittlich dreimal in jedem Versuchsjahr oberirdisch die Biomasse ermittelt und auf Trockenmasse und den N-Gehalt untersucht, um die N-Aufnahme und den N-Status zu berechnen. Die beernteten Flächen waren je 1,5 m breit und 8 m bzw. 2 – 6 m bei Weizen und Mais lang. Vor jeder Ernte wurden zwei Spektralmessungen durchgeführt. Aus den spektralen Messwerten innerhalb dieser Ernteparzellen wurde ein Mittelwert gebildet und zu den Bestandesparametern in Beziehung gesetzt.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich eine vierseitige Messoptik gut für spektrale Reflexionsmessungen mit Sonnenlicht eignet. Unabhängig vom Sonnenstand ergaben sich bei Weizen hohe Bestimmtheitsmaße in der Bestimmung der N- Aufnahme. Auch die Witterung hatte kaum einen Einfluss auf die Güte der Ergebnisse. Selbst eine Messung im Regen erbrachte gute Ergebnisse. Nur bei häufigem Wechsel zwischen Sonne und Wolken wurde das  $R^2$  etwas schlechter.

Beim Weizen korrelierten die Spektralmessungen mit Ausnahme des NDVI am besten mit der N-Aufnahme wie das Beispiel in Abbildung 3.1.3 zeigt.

Messungen an jungen Pflanzenbeständen sind schwierig, da das reflektierte Licht gleichzeitig von Boden und Pflanzen stammt und nicht unterschieden werden kann. Durch die schräge Messoptik erhöht sich aber der Anteil an Biomasse im Blickfeld um den Faktor 1,8. Dadurch sind Messungen schon zu BBCH 27 möglich.

Ab BBCH 30 konnte die N-Aufnahme in allen drei Versuchsjahren und zu allen Messterminen mit einem Bestimmtheitsmaß von über 0,90 bestimmt werden. Zwischen BBCH 40 und 55 ist die Bestimmung der N-Aufnahme etwas schlechter, wird dann aber zwischen BBCH 60 und 70 wieder besser. Andere Indizes sind teilweise gleich gut wie der REIP, jedoch teilweise etwas schlechter, aber lieferten nicht so konstante Ergebnisse und waren damit nicht so verlässlich.

Biomasse und N-Gehalt wiesen auch gute Beziehungen zu den Spektralmessungen auf. Zum Teil korrelierte die Biomasse besser, zum Teil der N-Gehalt. Da aber bei allen Ernten die Spektralmessungen am besten mit der N-Aufnahme korrelierten, muss davon ausgegangen werden, dass die Biomasse und der N-Gehalt als Teilgrößen der N-Aufnahme auch mehr oder weniger mit der N-Aufnahme korrelieren und nicht als solche direkt spektral detektierbar sind. Eine Ausnahme stellt der NDVI dar. Dieser Index korrelierte in jungen Entwicklungsstadien am besten mit der Biomasse und beschreibt diese besser als alle anderen Indizes. Daher ist der NDVI bei diesem Sensoraufbau bei Weizen als Biomasseindikator zu betrachten.

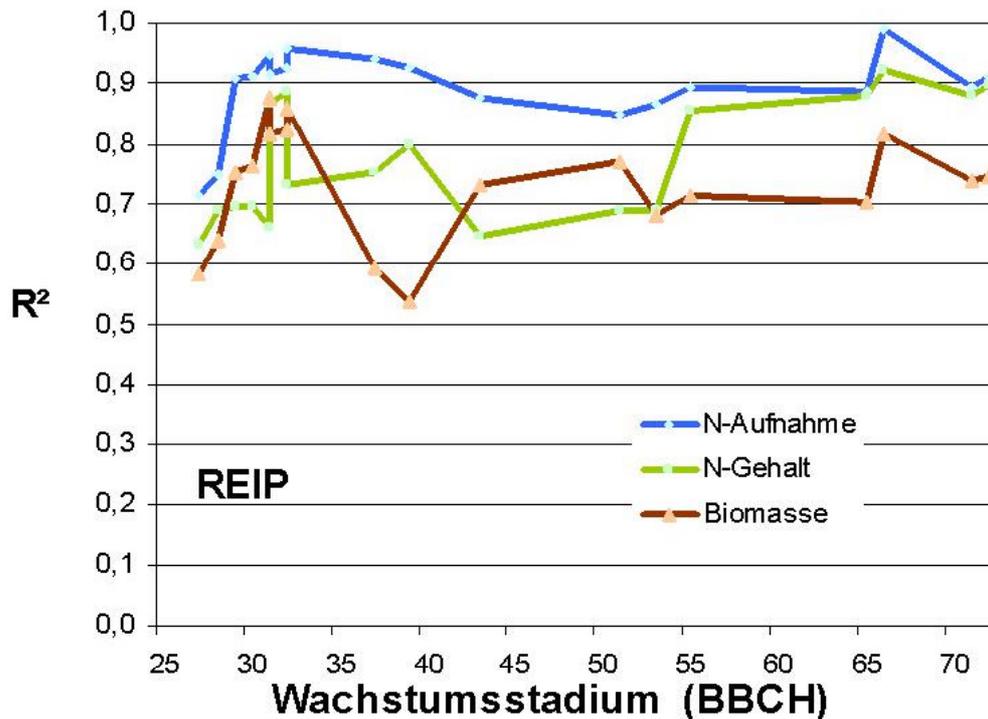


Abbildung 3.1.3: Bestimmtheitsmaß (adj.  $R^2$ ) zwischen Bestandeseigenschaften (N-Aufnahme, N-Gehalt und Biomasse) und Bestandesreflexion (REIP) während drei Versuchsjahren bei Weizen

In diesem Vorhaben wurde zusätzlich versucht den N-Status spektral zu erfassen. Zur Beschreibung des N-Status wird häufig der Nitrogen Nutrition Index (NNI) benutzt (Lemaire and Gastal, 1997). Dieser Index berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen dem tatsächlichen N-Gehalt zum kritischen N-Gehalt. Der kritische N-Gehalt ist der Gehalt an Stickstoff in der Pflanze oder dem Bestand, der notwendig ist, um die maximale Menge an Biomasse zu produzieren. Dieser optimale N-Gehalt nimmt mit zunehmender Bestandesentwicklung ab. Als Ursache für diese Abnahme des N-Gehaltes werden Gewebeunterschiede vermutet. Dieses lässt sich in zwei Gruppen einteilen. Zur ersten Gruppe zählt das Stützgewebe wie beispielsweise das Stützgewebe oder die Leitungsbahnen. Dieses Gewebe weist einen N-Gehalt von 0,8 %, die zweite Gewebegruppe umfasst photosynthetisch aktives Gewebe. Dieses weist bei C3 Pflanzen einen N-Gehalt von 6,5 % N und bei C4 Pflanzen von 4,8 % N auf. Der tatsächliche N-Gehalt der Pflanzen ergibt sich nun aus dem Verhältnis von Stützgewebe zu photosynthetisch aktivem Gewebe. Mit zunehmender Pflanzenentwicklung nimmt der relative Anteil an Stützgewebe zu und dadurch der tatsächliche N-Gehalt ab. Dadurch stützt sich der NNI nicht nur auf den N-Gehalt des Bestandes, sondern betrachtet diesen immer im Verhältnis zur tatsächlichen Biomasse.

Der Nitrogen Nutrition Index ist bisher für verschiedene Pflanzenarten bestimmt worden. Da die Bestimmung des N-Gehalts und der Trockenmasse aber nur im Labor erfolgen können, blieb dieser Index bisher wissenschaftlichen Untersuchungen vorbehalten und wurde nicht in der Festlegung des Düngedarfs in der Praxis eingesetzt. Wie Abbildung 3.1.4 beispielhaft

zeigt konnte in unseren Untersuchungen der NNI erfolgreich mit Spektralmessungen bestimmt werden.

In allen Jahren und für alle Messungen konnte bei Weizen ein geringfügig besseres Bestimmtheitsmaß zwischen dem NNI und spektralen Reflexionsmessungen als zwischen der N-Aufnahme und Reflexionsmessungen ermittelt werden. Damit kann mit einer einfachen und schnellen Methode festgestellt werden, ob Pflanzenbestände gut mit Stickstoff versorgt sind, oder eine Mangelsituation vorliegt. Dies lässt noch keine Aussage zu, warum die Pflanzenbestände zu wenig N aufgenommen haben. Wurde zu wenig N gedüngt, oder konnte dieser nicht aufgenommen werden, da es beispielsweise zu trocken war? Da Wasser der am häufigsten limitierende Faktor ist, müsste ein zusätzlicher Wasserindex für dieses System ermittelt werden, der den Wasserstatus des Bestandes parallel zum N-Status detektieren kann. Eine Überdüngung in trockengestressten Beständen muss aus Gründen der Umweltbelastung und Ressourcenverschwendung ausgeschlossen werden. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Beim Mais war es schwierig mit Spektralmessungen den N-Staus zu detektieren. Die Indizes korrelierten etwas schlechter mit dem NNI als mit der N-Aufnahme. Die Ursache könnte in dem niedrigeren N-Gehalt und der höheren N-Effizienz der C3 Pflanzen liegen. Dies könnte auch der Grund sein, weshalb die Messungen bei Mais vorwiegend besser mit der Biomasse korrelierten als mit der N-Aufnahme wie Abbildung 3.1.5 zeigt.

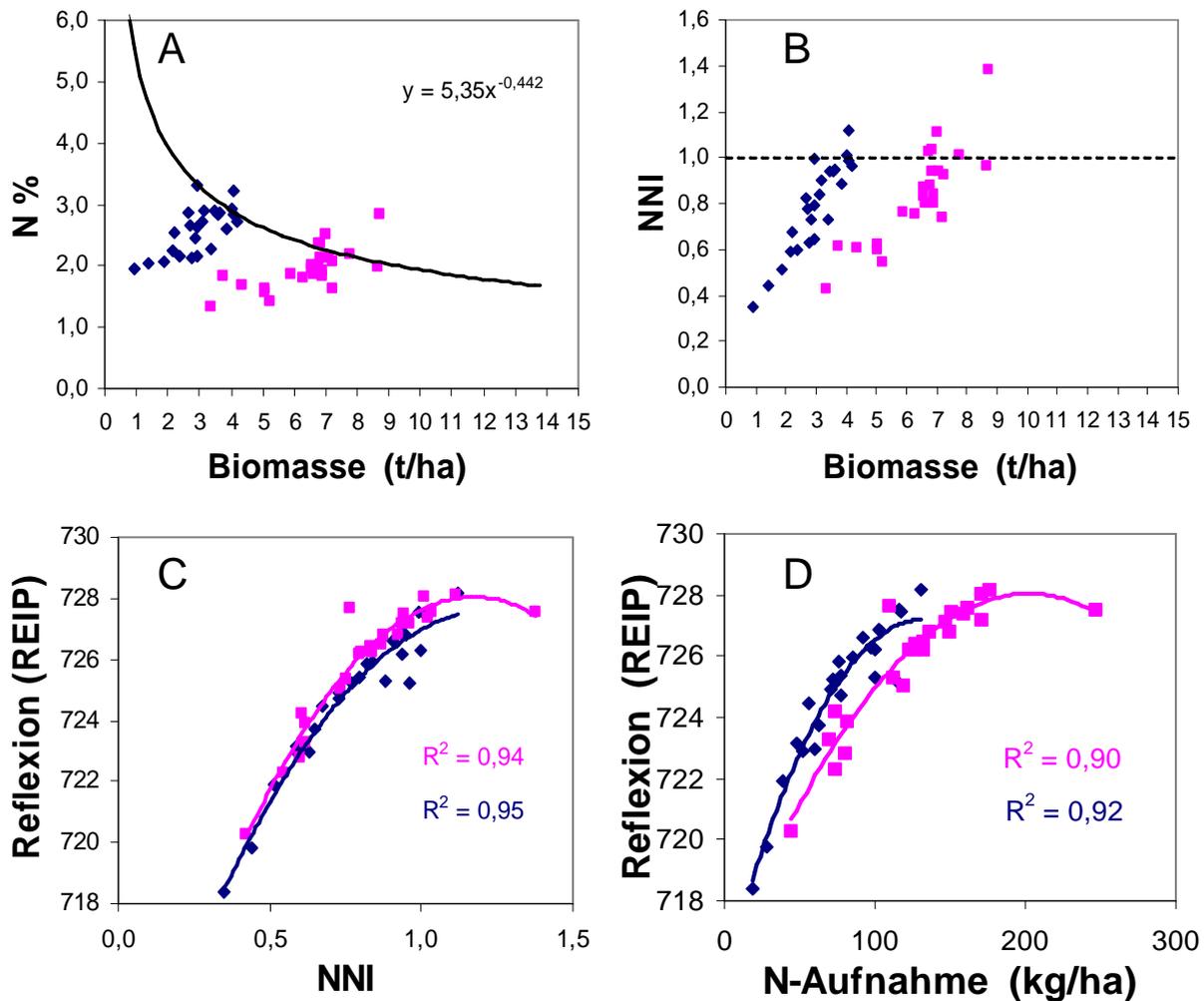


Abbildung 3.1.4: Kritischer N-Gehalt [A] und NNI [B] in Beziehung zur Biomasse im Jahr 2002. Spektrale Bestimmung des NNI [C] und Vergleich mit der N-Aufnahme [D]

In frühen Vegetationsstadien korrelierte in allen drei Versuchsjahren und bei allen Indizes die Biomasse am besten mit den Reflexionsmessungen. In späteren Stadien war dies nur im Jahr 2004 der Fall. Der N-Gehalt dagegen konnte nur bei den späten Messungen im Jahr 2002 detektiert werden. Das zeigt, dass der Jahreseinfluss bei Mais eine große Bedeutung hatte. Möglicherweise ist dies in den unterschiedlichen Wachstumsbedingungen während des Sommers begründet, da auch die N-Nachlieferung des Bodens teilweise sehr variabel ist und diese wiederum von der Bodenfeuchtigkeit abhängt.

Trotzdem konnte in allen drei Versuchsjahren die N-Aufnahme gut mit Spektralmessungen detektiert werden. Daher ergibt sich auch bei Mais die Möglichkeit einer teilflächenspezifischen, geteilten N-Düngung.

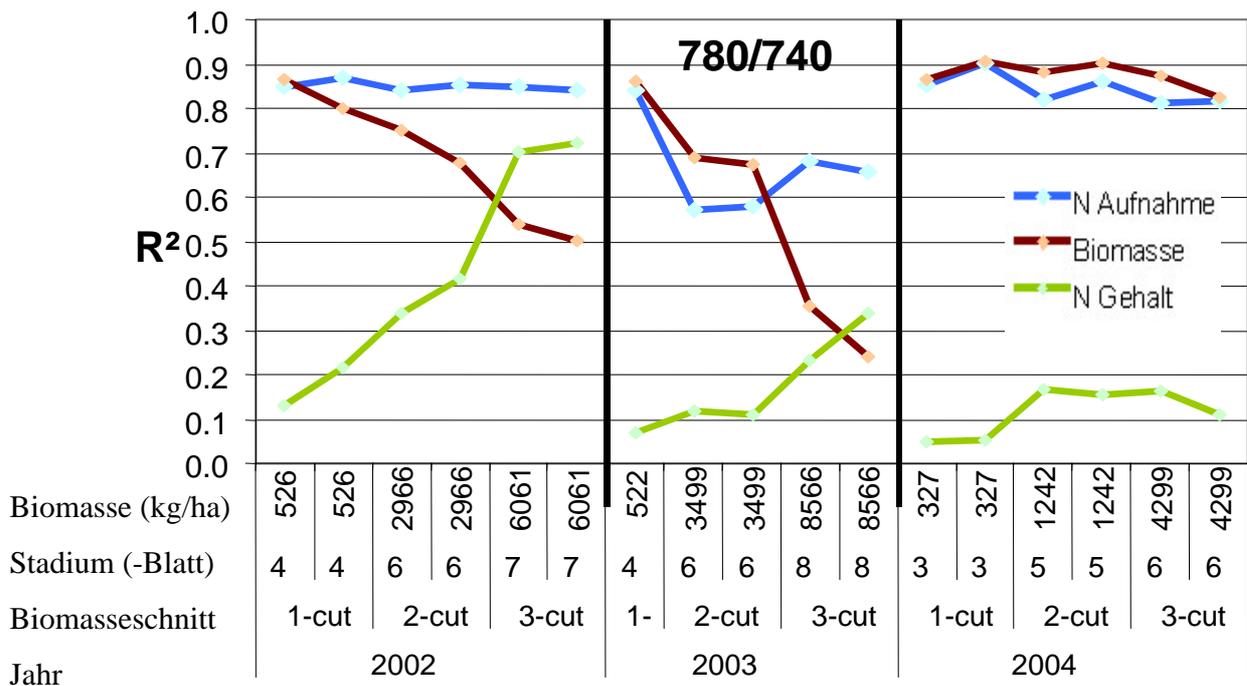


Abbildung 3.1.5: Bestimmtheitsmaß (adj.  $R^2$ ) der Beziehung zwischen Bestandesparametern (N-Aufnahme, N-Gehalt und Biomasse) und Bestandesreflexion ( $R_{780}/R_{740}$ ) zu verschiedenen Wachstumsstadien während drei Versuchsjahren bei Mais

Ertragsermittlung mit Spektralmessungen: In der Fernerkundung entwickelte Methoden zur Beschreibung der Ertragsleistung von kleinkörnigen Getreidearten sind erstmals auf einer terrestrischen Basis flächendeckend zur Ertragserfassung eingesetzt worden. Damit wurde versucht, bestehende Nachteile der Ertragserfassung mit entsprechender Sensorik bspw. in Mähdreschern zu vermeiden. Ertragskarten, die aus Ertragserfassungseinheiten in Mähdreschern gewonnen werden, sind in der Praxis häufig fehlerbehaftet. Dies führt bei der Verschneidung von Punktdaten wie Bodenuntersuchungen, aber auch von Biomassenschnitten oder von flächenhafteren Daten wie Fernerkundungsdaten zu erheblichen Problemen. Direkte Vergleiche sind häufig nicht möglich. Vegetationsinformationen, die mit einem spektralen Sensor erfasst werden, sind hingegen kontinuierlich und erlauben einen besseren Vergleich mit andern flächenhaften Daten.

Für die weitere Ermittlung von Ertragsdaten durch Spektralmessungen wurden bisher nur die Jahre 2002 und 2003 untersucht. Es zeichnet sich ab, dass bei Weizen relative Ertragsunterschiede zu früheren Entwicklungsstadien als erwartet bestimmt werden konnten. In den Jahren 2002 und 2003 konnten zwischen BBCH 30 und 40 Bestimmtheitsmaße von 0,82 und 0,85 für die Beziehung zwischen Ertrag und Spektralmessungen ermittelt werden. Im Jahr 2002 betrug das  $R^2$  konstant für alle Messungen bis zur Abreife hin 0,80. Im sommertrockenen Jahr 2003 hingegen erniedrigte sich das  $R^2$  zur Abreife hin auf 0,35. Die besten Ergebnisse wurden mit den N-detektierenden Indizes REIP und  $R_{780}/R_{740}$  erzielt. Möglicherweise ist die N-Aufnahme beziehungsweise der N-Status in jungen Entwicklungsstadien ausschlaggebend für die Ertragsbildung bei ausreichender Wasserversorgung.

Auch bei Mais konnten im Jahr 2002 relative Ertragsunterschiede wie beim Weizen durchgängig zu allen Messungen mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,80 detektiert werden. In den Jahren 2003 und 2004 dagegen war es nicht möglich Ertragsunterschiede spektral zu detektieren.

Skalierung der räumlichen Variabilität: Die Skalierung der räumlichen Heterogenität des Pflanzenwachstums wurde ansatzweise untersucht. Zur Ermittlung der kleinräumigen Variabilität wurden die Ernteparzellen links und rechts der Fahrspur miteinander verglichen. Dabei ergab sich für die Bestände zu BBCH 30 für alle drei Versuchsjahre bei Weizen ein Variationskoeffizient von 24 – 29 %. Zur Blüte hin nahm der Variationskoeffizient dann auf 13 – 21 % ab.

Der Sensor erfasste vier Messflächen mit je 1,3 m<sup>2</sup> über eine Fläche von 50 m<sup>2</sup> verteilt und mittelte optisch das Signal. Dadurch wurde die kleinräumige Variabilität eliminiert. Im Jahr 2003 wurde versucht die Ernteparzellen links und rechts der Fahrspur getrennt spektral zu messen. Dazu wurde der Sensor mit einem Ausleger seitlich am Traktor 30 cm über dem Bestand angebaut. Dies gestaltete sich aber schwierig, da der Sensor nur 20 % der Parzellen gemessen hatte, die Höhenführung schlecht war und die Dauer für eine Messung zu lange war, da sich die Belichtungsverhältnisse zwischenzeitlich zu stark änderten. Daher wurde nur ein vergleichbares Bestimmtheitsmaß wie bei den Standardmessungen erreicht. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Skalierung der Variabilität auf verschiedenen Standorten zu quantifizieren um eine sinnvolle Skalengröße für die teilflächenspezifische Düngung zu ermitteln.

Kooperationspartner des Projekts: Die Firma YARA hatte dieses Projekt freundlicherweise mit der Freischaltung des Wellenlängenmodus beim N-Sensor unterstützt.

### 3.1.5 Entwicklung und Prüfung teilflächenspezifischer Strategien

Parallel zur Überprüfung von Sensorsystemen sind basierend auf vorhandenen Heterogenitätsinformationen (Bodenkarten, EM-38 Karten, Ertragskarten, Sensorinformationen) Strategien für eine teilflächenspezifische N-Düngung getestet worden. Auf zwei heterogenen Schlägen (A16 und A17 in Scheyern) wurden mehrjährig und ortsfest variierte Düngungsstrategien (flächeneinheitlich, bzw. teilflächenspezifisch als Kombination von mapping und real-time Information) in georeferenzierten Streifenversuchen getestet. Der Ertrag wurde flächendeckend mit Parzellendrusch bzw. mit einem Mähdrescher mit Ertragserfassungseinheit bestimmt. Die Auswirkungen der differenzierten Düngung wurden an sechs ausgewählten Standorten pro Schlag detailliert mit Markierungsexperimenten bzw. mit regelmäßigen Untersuchungen des mineralischen Stickstoffgehalts verfolgt.

Die differenziert durchgeführten Maßnahmen zeigten bei gleichbleibenden Erträgen Einsparungsmöglichkeiten von mineralischem Stickstoff in der Größenordnung bis 34 kg N/ha auf Niedrigertragstandorten und 20 kg N/ha auf kolluvialen Hohertragsstandorten.

Damit konnte die Stickstoffeffizienz bei gleichbleibenden Erträgen signifikant verbessert werden. Parallel zur Ausbringung von Stickstoff wurde Chlorid als konservativer Tracer in etwa der Hälfte der Aufwandmenge für Stickstoff eingesetzt. Damit ließ sich die potenzielle Auswaschungsgefährdung von Nitratstickstoff zeigen. Die Untersuchungen lassen erkennen, dass bspw. in 2002 der potenzielle Nitrataustrag durch teilflächenspezifische Düngung während der Vegetationsperiode von 17% auf 5% reduziert werden konnte. Ähnliche Reduktionen lassen sich für die Winterperiode aufzeigen. Bisherige Erfahrungen zeigen auch, dass der bestehende Düngungsalgorithmus des N-Sensors verbesserungsbedürftig ist. Dies wird auch wesentlich auf die bisherige Nichtberücksichtigung von Bodeninformationen zurückgeführt. In 2000 durchgeführte Streifenversuche haben eine ökonomische Vorteilhaftigkeit eines kombinierten Ansatzes aufgezeigt.

### 3.1.6 Zusammenfassung

Im Rahmen der IKB-Teilprojekte 4+10 sind verschiedene Neuentwicklungen erfolgt. Zur Bestimmung des volumetrischen Bodenwassergehalts wurde eine einfache volumenbezogene Probeentnahmetechnik entwickelt. Mit der Firma Geonics wurde ein neues Gerät zur Erfassung der elektromagnetischen Induktion mit dem kleinsten bisher bekannten Spulenabstand entwickelt, das oberflächennahe Messungen ermöglicht. Für das kapazitative Messprinzip „Diviner“ wurden erstmals Kalibrierungen für verschiedene Böden entwickelt. Für die Durchführung von kontrollierten Wasserstressexperimenten wurde eine automatische rain-shelter Anlage mit Bewässerungseinrichtung und automatischer Erfassung der Bodenfeuchtigkeit konzipiert. Eine Trägeranordnung ermöglicht die reflexionsbasierte, sowie laserinduzierte Chlorophyllfluoreszenz- und thermische Messungen. Eine vierseitige reflexionsbasierte Spektralsensorik wurde entwickelt, die die Einstrahlung und Reflexion multispektral im Bereich von 400-1700 nm erfasst und sowohl im Parzellenversuch wie schlepperbasiert eingesetzt werden kann.

Der von YARA entwickelte N-Sensor wurde erstmals schlepperbasiert in mehrjährigen Versuchen spektral im Felde validiert. Für die Validierung wurde eine flächengleiche Biomassebestimmung in den spektralsensorisch erfassten Bereichen durchgeführt. Die Arbeiten zeigen, dass mit hoher Genauigkeit die N-Aufnahme von Weizen und Mais erfasst werden kann. Der nitrogen nutrition index wurde erstmalig schlepperbasiert im Felde bestimmt. Die Entwicklungsarbeiten zeigen im weiteren Möglichkeiten auf wie schlepperbasiert mit Reflexionsmessungen die nutzbare Feldkapazität und Erträge prognostiziert werden können. Die durchgeführten Feldversuche ermöglichten die erfolgreiche Entwicklung von Bewirtschaftungsstrategien. Wasser und Stickstoff wurden als begrenzende Faktoren identifiziert und die neuentwickelten Algorithmen zeigen auf, dass Stickstoff primär den Hohertragstandorten zugeführt wird und ein reduzierter Einsatz auf Niedrigertragsstandorten erfolgen soll. In mehrjährig durchgeführten Feldversuchen wurden diese Algorithmen getestet, die bei reduziertem Stickstoffaufwand vergleichbare Erträge und Reduktionen in den N-Verlusten aufzeigen.

### 3.1.7 Literatur

Lemaire, G. and Gastal, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag 3-41.

Major, D. J., Baumeister, R., Toure´, A., and Zhao, S. 2003. Methods of measuring and characterizing the effects of stresses on leaf and canopy signatures. *ASA Special Publication 66*, 165-175.

Reusch, S. 1997. Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Diss. Albrechts Universität zu Kiel, Kiel.

Reusch, S. 2003. Optimisation of oblique-view remote measurement of crop N-uptake under changing irradiance conditions. In: Stafford, J. and Werner A. (Ed.), *Precision agriculture: Papers from the 4th European Conference on Precision Agriculture*. Berlin, 573-578.

Schächtel, J. 2004. Sensorgestützte Bonitur von Aufwuchs und Stickstoffversorgung bei Weizen- und Kartoffelbeständen. Diss. Technische Universität München.

## 3.2 Biomasse (F.-X. Maidl)

Die Erfassung des Biomasseaufwuchses wurde in drei Teilprojekten bearbeitet und damit die gesamte Bandbreite der nichtdestruktiven Erfassungsmethoden abgedeckt.

### 3.2.1 Approximierung der bidirektionalen Reflexionsfunktion (T. Schneider)

Die Untersuchungen versuchten, den Einfluss des Blickwinkels auf den Informationsgehalt von Fernerkundungsdaten zu erfassen. Im Hinblick auf den **mapping approach** wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Sind Vegetationsparameter aus den schrägblickenden Kanälen von Drei-Zeilen Stereodatensätzen ableitbar?
- Wie hoch ist die Korrelation zu Parametern, die aus multispektralen Bandkombinationen abgeleitet wurden (Komplementarität der Ansätze Spektral-/Anisotropieauswertung)?
- Ist eine Verbesserung der Aussagenschärfe durch die Kombination beider Ansätze zu erzielen und wie hoch ist diese einzuschätzen. (Synergieeffekte)?

Hinsichtlich des **real-time approaches** wurde untersucht:

- Welche Wellenlängenbereiche sind bei beliebigem Beobachtungswinkel für die Ableitung der Parameter Chlorophyllgehalt, vitale Biomasse, Wassergehalt, N-Versorgung geeignet?
- Welche Größenordnung haben die Variationen der Parameterausprägung auf den Teilschlägen im Tagesgang und im Jahresverlauf ?
- Welchen Einfluß nimmt die Bewölkung auf die Interpretierbarkeit des Signals?
- Welche Aussagenschärfe ist von Reflexionsmodellen bei der Ableitung der Parameter CHL-Gehalt, Biomasse, Wassergehalt, Blattflächenindex, etc. zu erwarten?

#### 3.2.1.1 Methodischer Ansatz

Alle diese Fragestellungen sollten neben der Nutzung von Erdbeobachtungssystemen in Bodenmessungen untersucht werden. Dabei bestand das Konzept darin, Unterschiede im Anisotropieverhalten auf Stellen unterschiedlicher nutzbarer Feldkapazität zu erfassen und mit den phänologisch/physiologischen Eigenschaften der Vegetationsdecke an diesen Stellen zu erklären.

Der eigens entwickelte Messaufbau hat sich für die Zielsetzung und die zu Grunde gelegten Rahmenbedingungen bewährt. Diese wurden von der Pixelauflösung der operationellen Erdbeobachtungssysteme wie Landsat (900m<sup>2</sup> Pixelfläche), Spot HRV (400m<sup>2</sup>), IRS1-C (ca. 530m<sup>2</sup>), aber auch von der sinnvollen Flächengröße der Teilschläge vorgegeben, die mit ca. 15 \* 15 m angenommen wurden. Bei diesen Rahmenbedingungen konnte die Annahme getroffen werden, dass die erfassten Bereiche des Schrages homogen sind. Beruhend auf dieser Annahme konnte ein Schwenk/Neige Kopf für die Ausrichtung der Aufnahmeoptik genutzt werden, der für jeden Blickwinkel einen anderen Ausschnitt des als homogen betrachteten Teilschlags erfasst. Im Sinne der Strahlungsphysik musste zusätzlich die

Symmetrie der Rückstreuung bezogen auf die Haupteinstrahlungsebene sowie die Helmholtz Reziprozität als gegeben angenommen werden.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass sich die beiden international relevanten „mobilen“ Systeme zur Erfassung von Daten zur BRDF Modellierung, das amerikanische PARABOLA System [1, 2] und die WAAC Kamera der DLR in Berlin [3] auf die gleichen Annahmen stützen und ebenfalls unterschiedliche Teilbereiche „homogener“ Schläge erfassen. Auch soll darauf hingewiesen werden, dass zum Vergleich auch das Feldgoniometer System der Uni Zürich, FIGOS [6] in Dürnast getestet wurde. Aufgrund seiner eingeschränkten Mobilität und der zu geringen Messhöhe musste jedoch auf eine Nutzung verzichtet werden.

### 3.2.1.2 Beiträge zum „mapping approach“

In der Fernerkundung besteht allgemeiner Konsens darüber, dass die Anisotropie der Rückstrahlung einen *Störfaktor* darstellt, der bei der Interpretation spektraler Informationen berücksichtigt werden muss. Die Untersuchungs-Hypothese geht davon aus, dass die Anisotropie der Rückstrahlung von Pflanzenbeständen Rückschlüsse auf den phänologisch/physiologischen Zustand eines Bestandes erlaubt und somit auch als *Informationsquelle* genutzt werden kann. Die Auswertung eines MOMS-2P Mode D Datensatzes hat gezeigt, dass dieses sogar unter sehr ungünstigen Aufnahmebedingungen gelingt. Wie Abbildung 3.2.1 zeigt, erlaubt die Anisotropie-Information Rückschlüsse auf Vitalitätsunterschiede, die allein anhand der spektralen Information nicht erkennbar sind. Eine Klassifikation, die ausschließlich die Anisotropie-Information auswertet, war sowohl für Ackerflächen als auch für Wald möglich (Abb. 3.2.2).

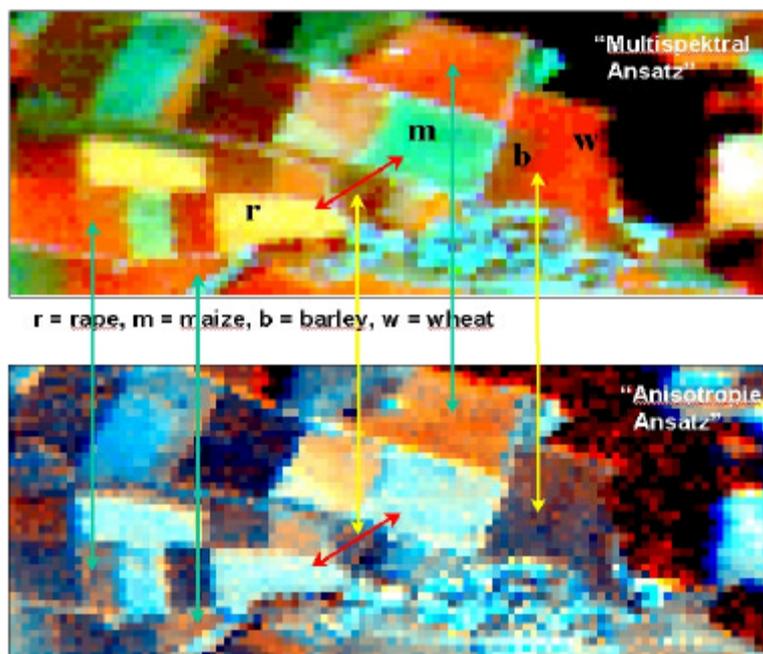


Abbildung 3.2.1: „Multispektral“ (oben) und „Anisotropie“ Darstellung eines Ausschnitts der MOMS-2P mode D Szene Dürnast. Beispiele für Synergie und Komplementarität sind mit farbigen Pfeilen markiert.

Bereits die einfache, „klassische“ Bildanalyse im spektralen Merkmalsraum, mit den Stereokanälen sowie der Ratio  $St7/St6$  als zusätzliche Kanäle, brachte für die meisten Klassen eine signifikante Verbesserung des Klassifikationsergebnisses verglichen mit den Ergebnissen bei ausschließlicher Berücksichtigung der Multispektral- oder Anisotropie-Signatur.

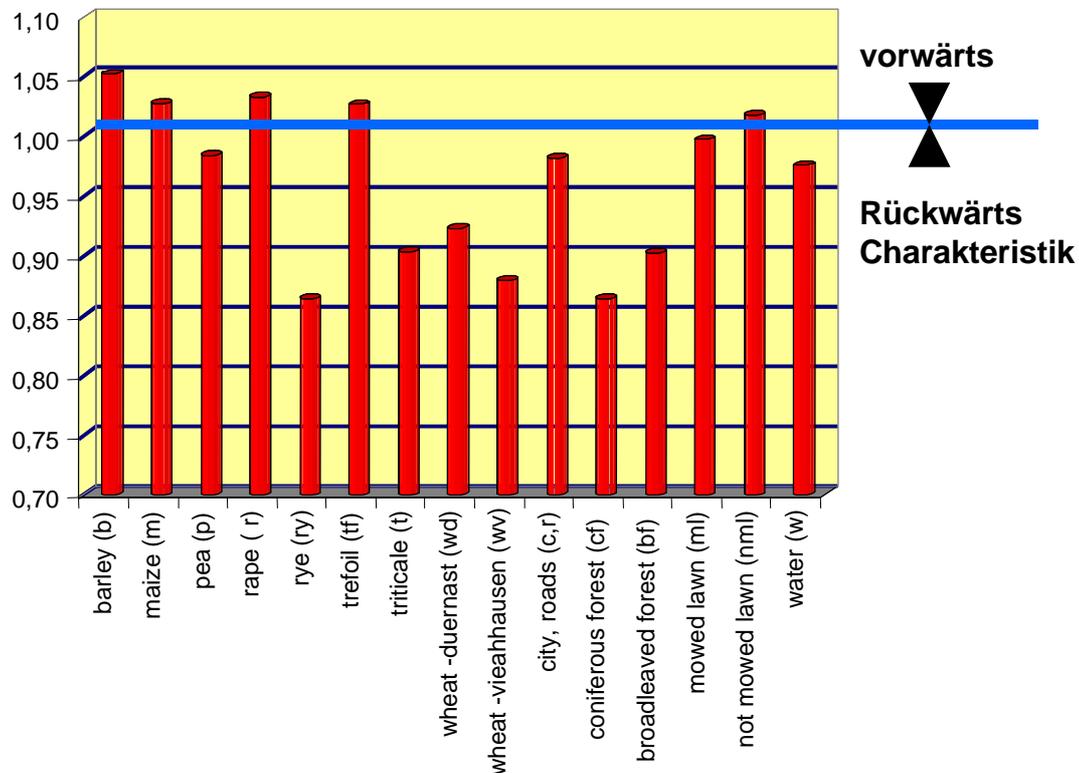


Abbildung 3.2.2: „Klassifikation“ der „Anisotropie“ Kanalkombination ( $St7 / St6$ ) nach dem Kriterium „vorwärts“/„rückwärts“ Charakteristik der Rückstreuung.

Bei einigen Klassen ist bei dieser „einfachen“ Methode eine Verschlechterung des statistischen Klassifikationsergebnisses festzustellen, die auf sich widersprechende Hinweise aus multispektral und Anisotropie Information zurückzuführen sind (Abb. 3.2.3). Dieser Befund wird durch eine deutliche Zunahme nicht klassifizierbarer Pixel unterstützt.

Im Hinblick auf die Datenzusammenführung und Analyse wurde der objekt-orientierte Analyseansatz der eCognition Software überprüft. Bei Anwendung dieses hierarchisch strukturierten Verfahrens können klare Vorgaben für die Prioritäten der Merkmalsanalyse der einzelnen Klassen gesetzt werden. Oben genannter „Mehrdeutigkeitseffekt“ kann damit ausgeschaltet werden. Dieses geschieht u.a. durch die Integration von Zusatzinformationen. Das Verfahren ermöglicht die Verknüpfung von feldspektroradiometrischen Daten, Begleitmessungen, kartographischer Information und Auswertungen von flugzeug- oder satellitengestützten Sensoren in einem komplexen, hierarchisch strukturierten Netzwerk, welches die gesamte spektrale, räumliche und textuelle Information mittels "fuzzy"-Entscheidungsregeln auf Basis von segmentierten Objekten verwaltet. Der Ansatz verspricht in einem Rahmen, wie dem des IKB Dürnast, einige Vorteile.

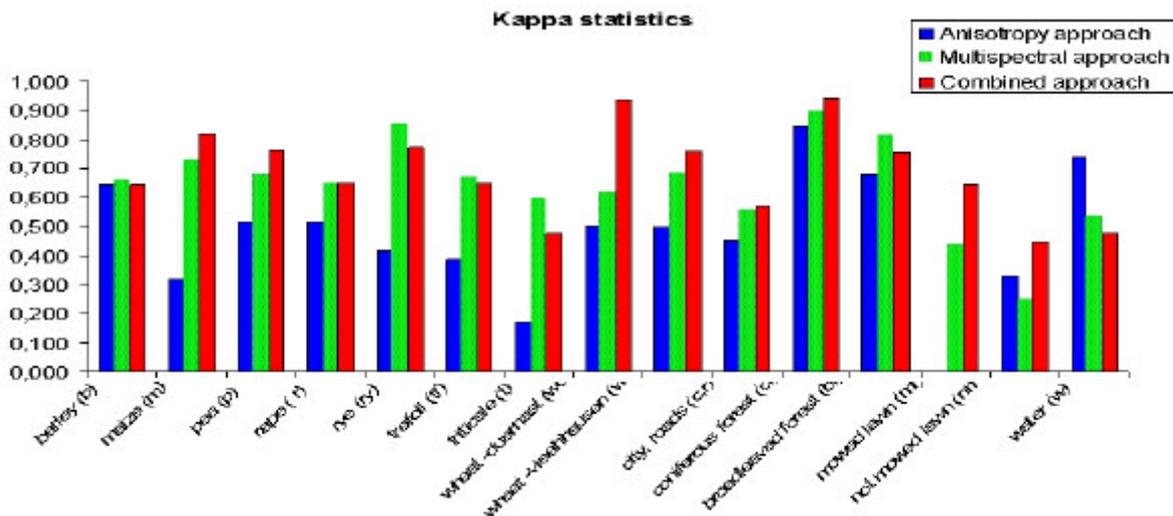


Abbildung 3.2.3: „Kappa“ Werte der Klassifikationsergebnisse von „Anisotropie“- „Multispektral“- und „Kombiniertem“ – Ansatz.

### 3.2.1.3 Beiträge zum „real-time approach“

Mit Blick auf den „real-time approach“ konnte der **qualitative** Nachweis von Unterschieden im Anisotropieverhalten auf Stellen unterschiedlicher nutzbarer Feldkapazität erbracht werden. Während der zwei Vegetationsperioden wurden ca. 10.000 Spektren erfasst. Jeweils 26 Spektren bilden einen Datensatz. Mit 74 Datensätzen für Winterweizen, 51 für Wintergerste, 67 für Mais und 15 für Raps entstand der derzeit weltweit umfassendste konsistente Datensatz zur Reflexionsfunktions-Modellierung.

Abbildung 3.2.4 zeigt typische Reflexionsverteilungskörper jeweils für 680 nm (rot) und 840 nm (NIR) für Stellen mit hoher und geringer Feldkapazität.

Beim „real-time“ approach muss ein operationelles Verfahren die unterschiedlichsten Beleuchtungsverhältnisse berücksichtigen. Mit welcher Größenordnung der Veränderungen der Reflexionscharakteristik und damit auch der Interpretation der erfassten Signatur bereits bei leichter Bewölkung gerechnet werden muss, verdeutlicht Abbildung 3.2.7.

Um die Veränderungen im Tagesverlauf und über die Vegetationsperiode zeigen zu können, wurde in den Abbildungen 3.2.5 -3.2.7 zwei 2-2,5 dimensionale Darstellungsarten gewählt.

Von hohem Interesse für die Gesamtfragestellungen war, inwieweit der unterschiedliche Blickwinkel die Parameterableitung aus FE-Daten beeinflusst. Im Rahmen der Dissertation von MANAKOS wurden die Bestandesparameter durch Inversion der gemessenen Spektralsignaturen mit Hilfe des physikalischen Modells ProSail bestimmt. Dabei hat sich gezeigt, dass **quantitative Aussagen** aus dem vorhandenen Datensatz nur bedingt getroffen werden können. Während der Jahresverlauf zu Sonnenhöchststand den destruktiv gemessenen Werten vergleichbare Ergebnisse lieferte, ist die Schwankungsbreite der Werte im Tagesverlauf mit Abweichungen von bis zu 100% indiskutabel. Als Ursache kommen sowohl Heterogenitäten des Messbereichs aufgrund der Bearbeitung, insbesondere der Fahrspuren, aber auch von Düngungsunterschieden (z.B. aufgrund überlappender Bearbeitungsbereiche, etc.) als auch Schwächen des Modells in Frage.

### Winterweizen EC39

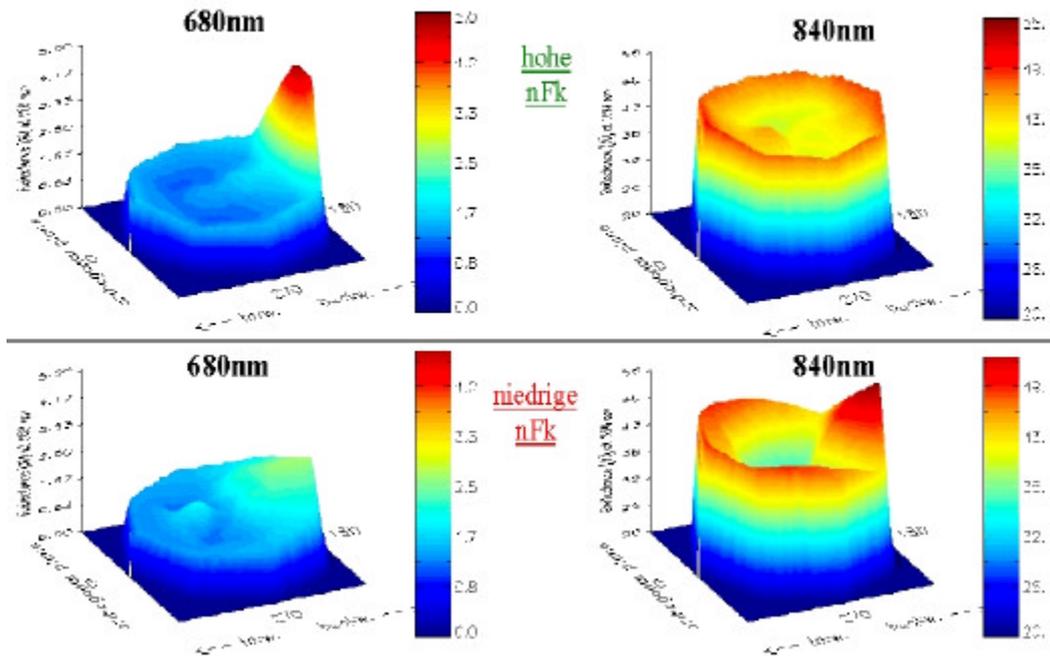


Abbildung 3.2.4: Verteilung der Rückstreuintensitäten bei wechselndem Beobachtungswinkel für die Wellenlängenbereiche maximaler Chlorophyllabsorption (680 nm, Rotbereich) und maximaler Reflexion (840 nm, Rotschulter im Nahen Infrarot). Die Gegenüberstellung zeigt das unterschiedliche Verhalten in Bereichen hoher und geringer nutzbarer Feldkapazität.

### Ausschnitt Tagesverlauf EC 32

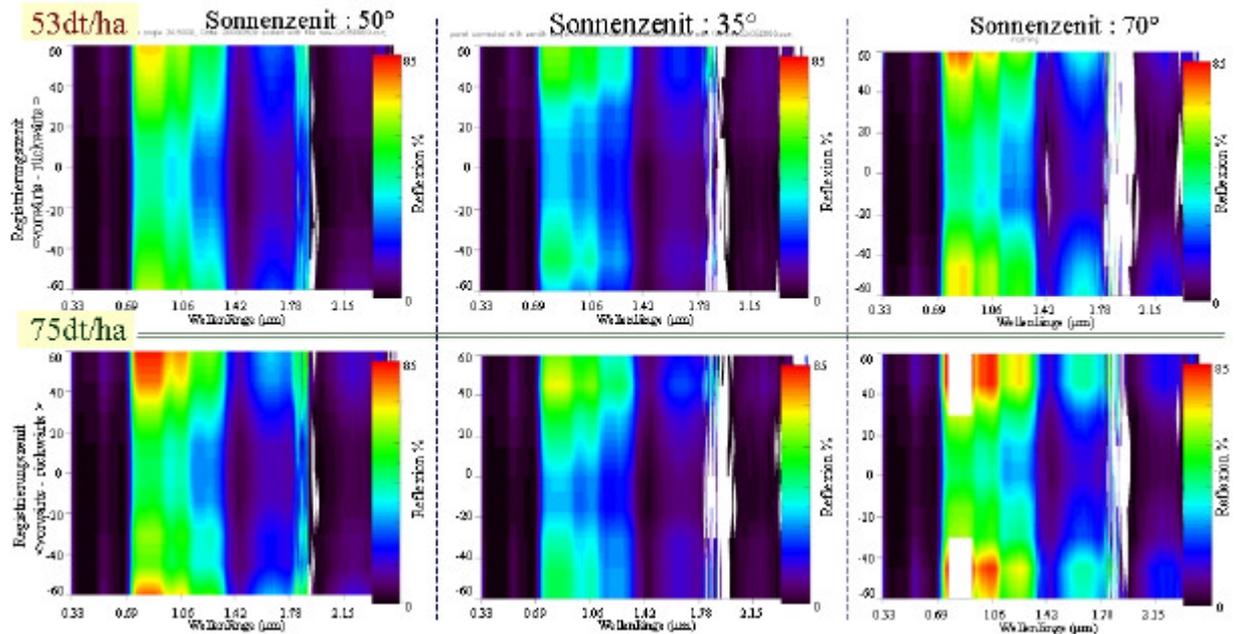


Abbildung 3.2.5: 2-D Darstellung der Reflexionsunterschiede des Winterweizenbestandes auf Schlag D1 in Dürnast in Abhängigkeit von Erfassungszentrit (y-Achse) und Wellenlänge (x-Achse) für drei Sonnenzenitwinkel Positionen desselben Tages, an Hoch- und Niedrigertrags Standorten

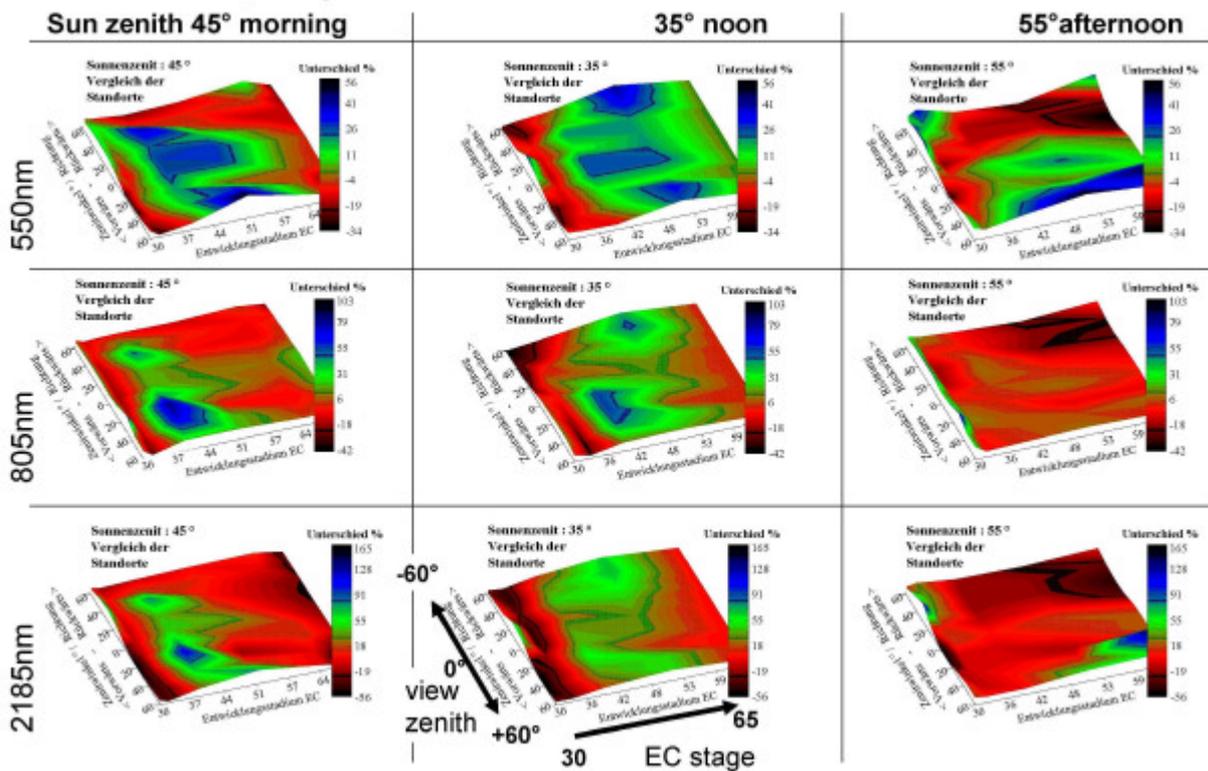


Abbildung 3.2.6: Reflexions-Unterschiede von Mais auf Schlägen hoher und niedriger Feldkapazität (Thalhausen) in Abhängigkeit von Erfassungszenit (y-Achse) und EC Stadium (x-Achse) berechnet für Sonnenzenitwinkel von 45° (Morgen), 35° (Mittag) und 55° (Abend) für drei Wellenlängenbereiche.

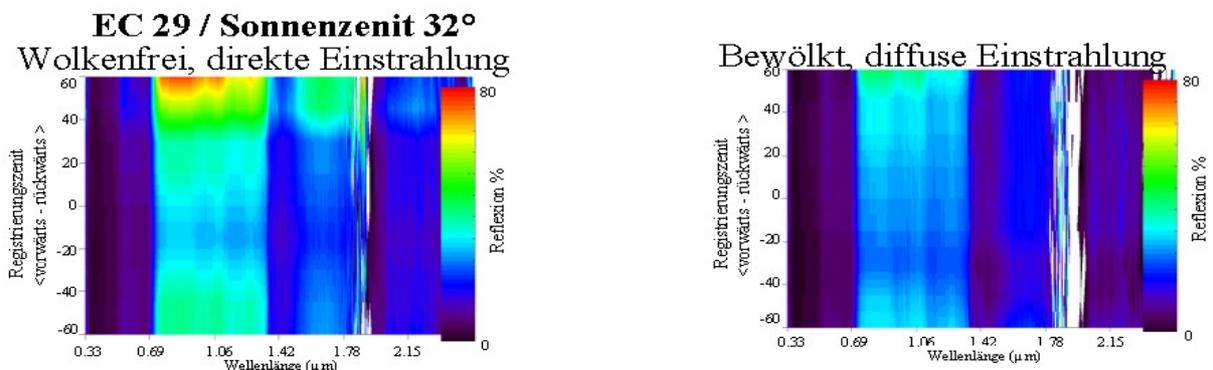


Abbildung 3.2.7: Änderungen der Reflexionscharakteristik bei direkter und diffuser Einstrahlung, Winterweizen D1 Dürnast

Die erste Fehlerquelle ist auf das Messkonzept zurückzuführen. Die Annahme der Homogenität des Messflecks muss nicht stimmen, der notwendige Positionswechsel im Tagesverlauf hat zusätzliche Auswirkungen. Parzellen und Streifen lassen sich mit der Messmethode nicht erfassen. Die zweite Fehlerquelle liegt in der Anpassung des Modells selbst. Die Ergebnisse der Invertierungen zur Parameterableitung des kombinierten ProSail Modells [5], die direkt am Lehrstuhl von Prof. S. Jacquemond in Paris durchgeführt wurden, konnten den Verdacht jedenfalls nicht ausräumen, das auch das Modell selbst besser angepasst werden muss.

### 3.2.1.4 Fazit und Forschungsbedarf

Hinsichtlich des „**mapping approach**“ hat sich die Qualität der feldspektroskopisch erhobenen Daten als ausreichend für die Korrektur von radiometrischen Einflüssen in Fernerkundungsdaten erwiesen. Dadurch scheint die Grundvoraussetzung für die Korrektur von Fernerkundungsdaten erfüllt, die mit „off nadir“ Blickwinkeln erfasst werden. Dieses betrifft Flugzeugscanner generell sowie auch die neue Generation sehr hoch auflösender satellitengetragener Sensoren, deren Vertreter Ikonos und Quick Bird Aufnahmen mit Blickwinkel von ca. +/- 40° anbieten.

Nicht ausreichend erscheint die Aussagegenauigkeit für Fragestellungen des wesentlich komplexeren und anspruchsvolleren „**real-time**“ **approach**.“ Eine ganz wichtige Erkenntnis war, dass die destruktiven Begleitmessungen zur Bestimmung von Bestandesparameter in der Regel ein ungenaueres Ergebnis, jedenfalls eine breitere Streuung geliefert haben, als die Ableitung über die integralen Messsignale der feldspektroradiometrischen Messungen! Einige Informationen, etwa die, für die Reflexionsmodellierung wichtige, Blattflächenausrichtung (BFA), konnten überhaupt nicht erfasst werden.

Die Bilanzierung der Ergebnisse des TP 5 zeigt auf, in welchen Bereichen der Argumentationskette Forschungsbedarf existiert:

- Ableitung von Parametern zur Zustandsbeschreibung bei kombinierter Auswertung von multispektraler und richtungsgebundener Signatur,
- der *quantitativen* Bestimmung der Unterschiede zwischen Hoch- und Niedrigertragsbereichen, da in TP 5 auf Teilschlägen im normalen Routinebetrieb gemessen wurde, auf denen keine destruktiven Messungen zu Bestandesparameter durchgeführt wurden,
- Bestimmung der Aussagenschärfe von Reflexionsmodellen bei Variation der Parameter Sorte, N-Düngung, Saatstärke, Wasserversorgung durch Messungen auf den Parzellen auf denen Versuchs-Varianten angelegt wurden, - dieses war mit dem vorhandenem Messaufbau in TP 5 nicht möglich,
- die Invertierung der Reflexionsmodelle, die sich in TP 5 sich auf die feldspektroskopisch erfassten Datensätzen beschränkte, was genau genommen einen Zirkelschluß darstellt, da die gleichen Datensätze zur Optimierung der Reflexionsmodelle genutzt werden,
- der Einfluss von diffuser und direkter Einstrahlung auf die Interpretierbarkeit des Signals.

Ein zweiter Projektabschnitt, in dem die oben angesprochenen offenen Fragen mit einem optimierten Messansatz untersucht werden sollten, ist nicht bewilligt worden.

Mit der Entwicklung eines mobilen Feld-Goniometers [7] und der Anpassung des Reflexionsmodells (jetzt Prospect Sailh Modell, [4]) im Rahmen eines Vorhabens der HighTech-Offensive Bayern wurde in den letzten drei Jahren versucht, die in TP 5 identifizierten offenen Fragen Schritt für Schritt zu beantworten. Im Sommer 2005 fand eine erste Messkampagne auf Versuchsflächen der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien statt, die den Messfortschritt belegt, aber noch nicht vollständig ausgewertet ist.

Wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Projektbereich:

M.Sc. I. Manakos (TP 5)  
Dipl.-Ing. agr. J. Liebler (TP 4)  
Dr. Y. Kim (Gastwissenschaftler University of Illinois; Juni-Juli 2001)

### 3.2.2 Biomasse und N-Status in Pflanzen

Heterogene Standortbedingungen landwirtschaftlicher Nutzflächen verursachen eine starke Variation des Ertrags und der Nährstoffaufnahme, so dass die derzeit praktizierte schlageinheitliche Düngung zu Bereichen mit Nährstoffüberschüssen bzw. Zonen der Unterversorgung führt. Bei Überversorgung steigt die Gefahr der Umweltbelastung; gleichermaßen ist die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Eine Nährstoffunterversorgung führt zu Ertragseinbußen und langfristig sinkt die Bodenfruchtbarkeit.

Aus dem Reflexionsverhalten eines Pflanzenbestandes im sichtbaren und nahen Infrarotbereich werden über die Berechnung verschiedener Vegetationsindices, Rückschlüsse auf agronomisch relevante Parameter erhalten. Für pflanzenbauliche Fragestellungen ist daher die Güte eines Vegetationsindex, der einerseits sensitiv gegenüber Bestandesparametern, andererseits unempfindlich gegen störende Umwelteinflüsse ist, unerlässlich. Grundlage für die Untersuchungen der TP 3 und 9, war eine nicht-destruktive Methode zur Bonitur des aktuellen Stickstoffstatus von Kulturpflanzen sowie deren Nutzung für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung sowie die Entwicklung entsprechender N-Düngungssysteme.

#### 3.2.2.1 Material und Methoden

Die Untersuchungen des Biomasseaufwuchses und des aktuellen Stickstoffstatus der Pflanzenbestände erfolgte mit einem handgehaltenen zweikanaligen Spektroradiometer (Carl Zeiss, Spektralbereich 360 bis 1050 nm, spektrale Auflösung 3,2 nm, Öffnungswinkel Referenzkanal 180°, Öffnungswinkel Messkanal 25°). Im Vegetationsjahr 2003 erfolgte der Umbau des spektralen Messkanals. Diese Maßnahme ermöglichte eine Blickwinkelperspektive links und rechts der Vertikalachse. Die bidirektionale Einstellung (BRDF) erfolgte mit einem Rasterwinkelscharnier und ermöglichte Einstellungen von 0° - 60°.

In mehrjährigen Feldversuchen wurden hyperspektrale Reflexionsdaten (360 – 1050 nm) während agronomisch relevanter Entwicklungsstadien von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.), Mais (*Zea mays* L.) und Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) gemessen. Die Feldversuche umfassten dabei stets mehrere Sorten einer Kultur, um so Auswirkungen von Blattarchitektur, Blattfärbung und anderen Pflanzenparametern zu erfassen. Zudem beinhalteten die Feldversuche stets eine differenzierte N-Düngung in verschiedenen Stufen. Die Reflexionsmessungen wurden zu 5 bis 7 Terminen während der Vegetationsperiode mit dem oben beschriebenen Spektrometer durchgeführt. Die Reflexionssignaturen errechnen sich dabei aus dem Verhältnis der Remission und Einstrahlung, korrigiert um einen geräteinternen Standard (BaSO<sub>4</sub>). Die Betrachtung verschiedener, aus der Literatur weitgehend bekannter Vegetationsindizes

wurde aus dem Rückstreuverhalten verschieden eng beieinander liegender Wellenlängen, die mit wichtigen agronomischen Parametern korreliert sind, errechnet (Tab. 3.2.1).

Tabelle 3.2.1: Errechnete Vegetationsindizes aus Reflexionsdaten

Vegetations-index	Wellenlängen / Indexgleichung	Referenz
REIP	$700 + 40 \times ((R_{670} + R_{700}) / (2 - R_{700})) / (R_{740} - R_{700})$	(Guyet und Baret, 1988)
IR/G	$R_{780} / R_{550}$	(Takebe et al., 1990)
IR/R	$R_{780} / R_{670}$	(Pearson und Miller, 1972)
IRI 1	$R_{740} / R_{730}$	(Reusch, 1997)
IRI 2	$R_{740} / R_{720}$	(Reusch, 1997)
NDVI	$(R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670})$	(Rouse et al., 1974)
SAVI	$(1 + B) (780 - 670) / (780 + 670 + B)$	Huete (1988)

Als Referenz zu dem nicht-destruktiven Messverfahren dienten zeitgleich durchgeführte Biomasseschnitte für die Bestimmung des Trockenmasseertrages und der N-Konzentration nach der Methode von Kjeldahl.

### 3.2.2.2 Ergebnisse zur reflexionsoptischen Abbildung der N-Aufnahme von Kulturpflanzen

Die Ergebnisse sind kulturspezifisch und werden deshalb gesondert nach den untersuchten Kulturarten aufgezeigt.

Winterweizen: Unterschiedlich gedüngte Weizenbestände zeigen typische Reflexionskurven (Abb. 3.2.8). Im sichtbaren Bereich (360 bis 690 nm) sinkt die Lichtreflexion mit steigender N-Versorgung. Ursache ist eine infolge höherer Chlorophyllkonzentration höhere Photosyntheseleistung, wodurch Licht absorbiert wird. Im nahen Infrarotbereich steigt die Reflexion mit erhöhter N-Versorgung der Pflanzen. Licht im nahen Infrarotbereich ist nicht photosynthetisch aktiv. Mehr Blattmasse bewirkt eine höhere Rückstrahlung.

Aus diesen Reflexionsdaten lassen sich nach Tabelle 3.2.1 verschiedene Vegetationsindices berechnen. Entscheidend ist nun die Frage wie gut pflanzenbaulich wichtige Parameter mit welchem Index abgeschätzt werden können. Der wichtigste Parameter bei Getreide ist dabei die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse. Abbildung 3.2.9 zeigt den Zusammenhang in Form der Bestimmtheitsmaße der linearen Regression zwischen N-Aufnahme von Winterweizen und verschiedenen Vegetationsindizes zu agronomisch relevanten Entwicklungsstadien.

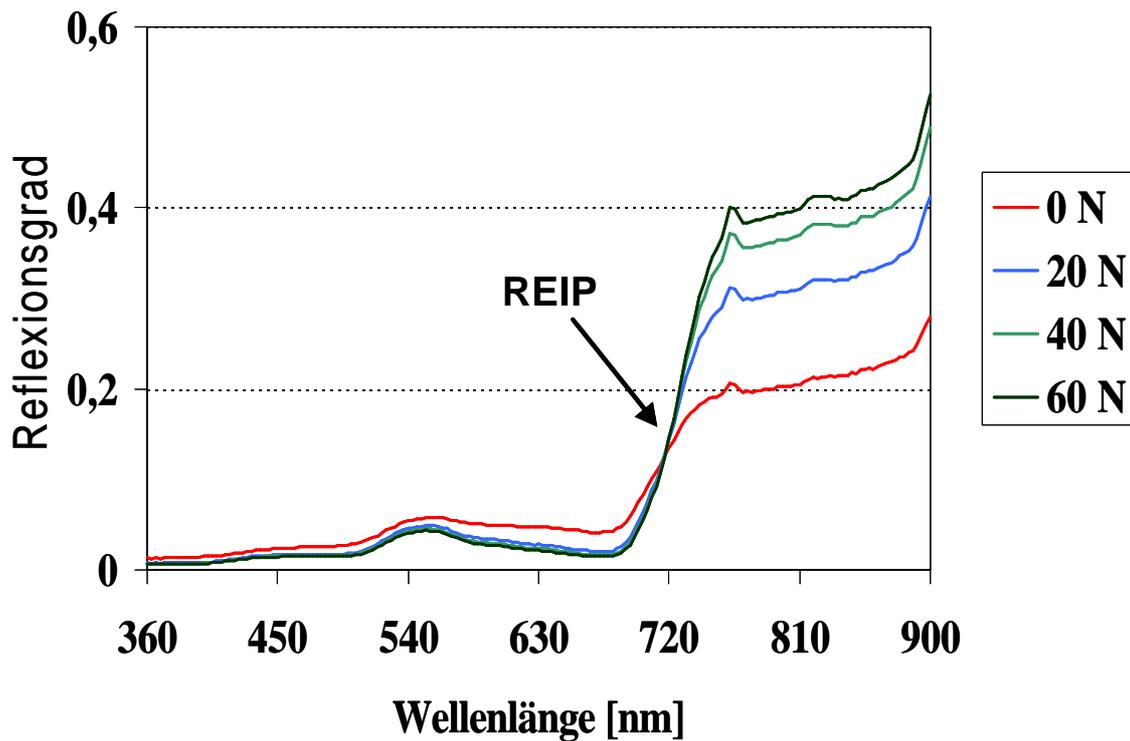


Abbildung 3.2.8: Reflexionsspektren unterschiedlich gedüngter Winterweizenbestände (Aristos zum Vegetationsstadium EC 39 (Dürnast 2001))

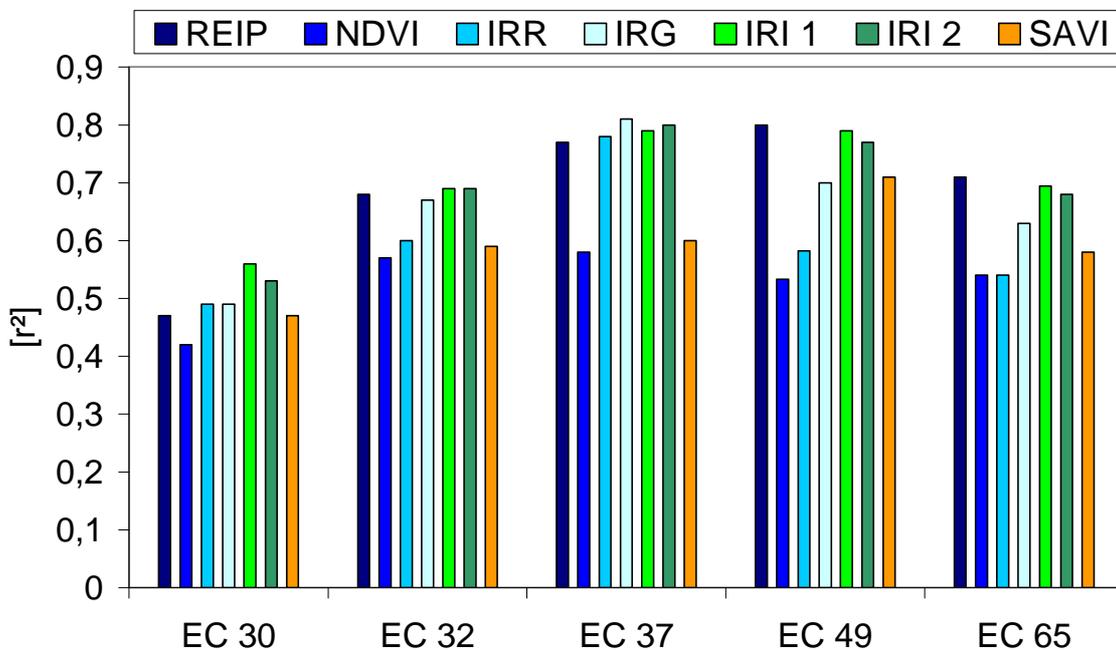


Abbildung 3.2.9: Bestimmtheitsmaß  $R^2$  zwischen Vegetationsindizes und der N-Aufnahme in Abhängigkeit vom Messtermin bei Winterweizen (Mittel über vier Sorten und vier N-Stufen, 0 – 220 kg N ha<sup>-1</sup>)

Mit steigender Biomassebildung und N-Aufnahme während der Vegetationsperiode wird eine deutliche Zunahme der R<sup>2</sup>-Werte beobachtet. Bereits ab EC 32 werden mit R<sup>2</sup>-Werten >0,7 sehr hohe Bestimmtheitsmaße erreicht (Abb. 3.2.9).

Die Spektralindices werden auch von Sortencharakteristika wie Habitus, Chlorophyllkonzentration sowie epidermalen (externen) und internen Blattstrukturen beeinflusst (Tab. 3.2.2). Besonders groß sind die Sorteneffekte beim IRR- und IRG-Index, während bei den anderen Indices der Sorteneffekt kleiner 5% betrug. Am stabilsten erwies sich bei dieser Betrachtung der Red Edge Inflection Point (REIP).

Tabelle 3.2. 2: Absolute und relative Werte (Klammer) ausgewählter Vegetationsindizes verschiedener Winterweizensorten (3 Jahre, 4 N-Stufen, 5 EC-Stadien; verschiedene Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede, p < 0,05)

Sorte	Vegetationsindizes						
	REIP	NDVI	IRR	IRG	IRI 1	IRI 2	SAVI
Cortez	724,8 a (100,03)	0,84 b (103,7)	19,7 b (135,9)	8,1 b (115,7)	1,32 a (98,5)	1,96 b (105,9)	1,01 a (106,3)
Flair	724,7 a (100,01)	0,82 ab (101,2)	14,4 a (99,3)	7,0 a (100)	1,34 a (100)	1,89 ab (102,2)	0,97 a (102,1)
Orestis	724,2 a (99,94)	0,84 ab (103,7)	16,6 a (114,5)	7,2 a (102,9)	1,33 a (99,3)	1,87 ab (101,1)	0,99 a (104,2)
Pegassos	723,9 a (99,90)	0,83 ab (102,5)	15,6 a (107,6)	6,7 a (95,7)	1,32 a (98,5)	1,88 ab (101,6)	0,98 a (103,2)
Xanthos	724,6 a (100)	0,81 a (100)	14,5 a (100)	7,0 a (100)	1,34 a (100)	1,85 a (100)	0,95 a (100)

Die Genauigkeit und insbesondere die Sensitivität des Vegetationsindex REIP gegenüber der N-Düngung wird in Abbildung 3.2.10 verdeutlicht. Bereits geringe Unterschiede in der N-Düngermenge zu verschiedenen Vegetationsstadien führen zu entsprechenden Änderungen im Reflexionsindex REIP.

Neben der Menge der Einstrahlung ändert sich im Tagesverlauf der Sonnenstand und damit die Eindringung des Lichtes in den Bestand bzw. in die Blätter. Es war daher die Frage zu prüfen, wie empfindlich bzw. stabil die verschiedenen Indices im Tagesverlauf bzw. in Abhängigkeit vom Sonnstand sind. Hierzu wurden Messungen morgens, mittags und abends durchgeführt. Bei jedem Index kommt es zu signifikanten Änderungen im Tagesverlauf (Tab. 3.2.3). Die geringsten relativen Änderungen bzw. die größte Stabilität zeigt jedoch wiederum der REIP.

Die Problematik des hohen Bodenanteils bei kleinen Pflanzenbeständen und die damit ungenauere Schätzung der N-Aufnahme sollte versucht werden durch **bidirektionale Messungen** zu umgehen. Anliegen war insbesondere die Messgenauigkeit der spektralen Sensormessung in frühen EC-Stadien (EC 30) mittels BRDF-Methode zu verbessern, da ab

dem Zwei-Knoten-Stadium (EC 32) der Bestandesschluss weitestgehend abgeschlossen ist und Störgrößen wie z.B. Mischsignale aus Vegetation und Boden nur mehr von geringer Bedeutung sind (Abb. 3.2.11).

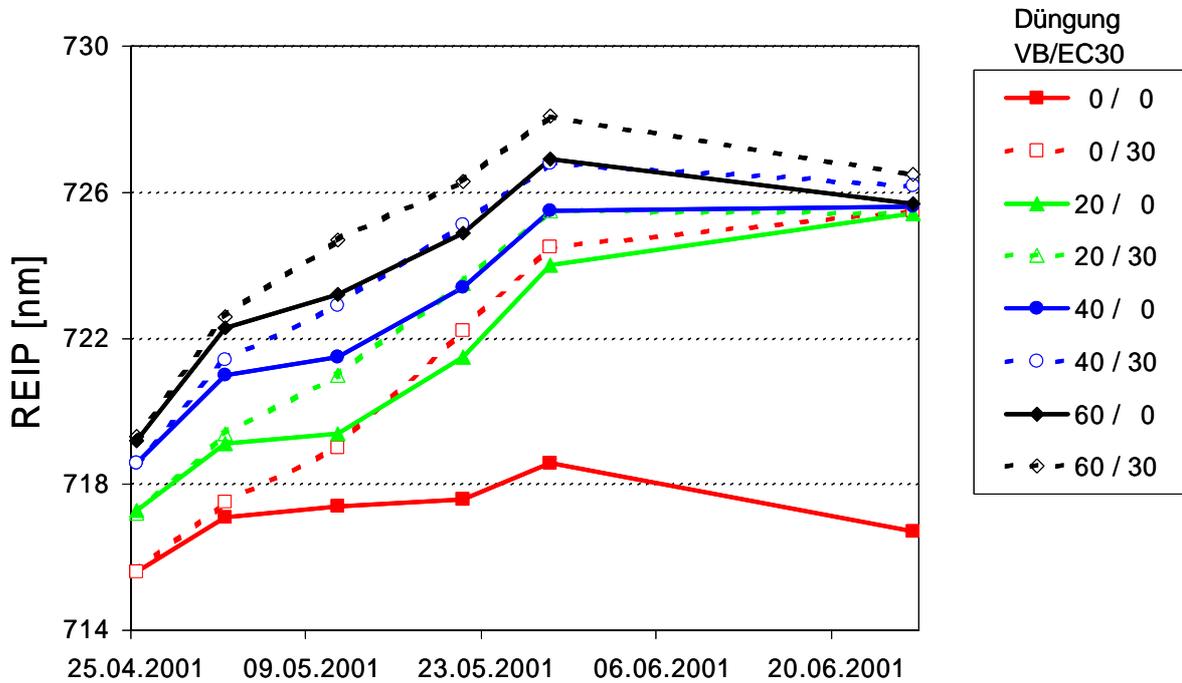


Abbildung 3.2.10: Sensitivität des Vegetationsindex REIP auf unterschiedliche N-Düngergaben im Verlauf der Vegetationsperiode

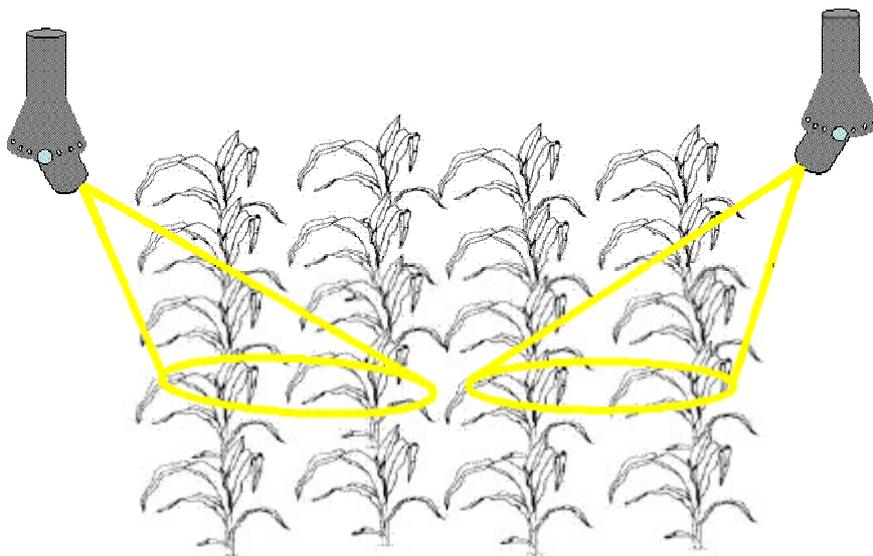


Abbildung 3.2.11: Prinzip der bidirektionalen Reflexionsmessung (BRDF), Schemazeichnung

Tabelle 3.2.3: Vergleich ausgewählter Vegetationsindices in Abhängigkeit der Tageszeit bzw. des Sonnenstandes (Mittel über die Faktoren Sorte, N-Düngung, EC-Stadien)

Tageszeit	Vegetationsindices			
	REIP	NDVI	RVI	IRI
Morgens	725,5 b	0,914 b	28,9 b	1,45 b
Mittags	725,2 a	0,858 a	20,7 a	1,41 a
Abends	725,9 c	0,920 b	31,2 c	1,45 b

Bei diesem Versuch wurde der vertikale Messwinkel (a) mit der Winkelvariante (b) (40° Blickwinkel in Drillrichtung) und der Winkelvariante (c) (40° Blickwinkel im Rechten Winkel zur Drillreihe) verglichen. Bereits zu EC 30 übertrafen beide Winkelvarianten bei weitem die Güte der vertikalen Messung mit hohen R<sup>2</sup>-Werten von 0,90. Diese guten Ergebnisse werden durch die Betrachtung der mittleren relativen Messfehler der N-Aufnahme abgesichert. Die Messgenauigkeit der bidirektionalen Betrachtung der N-Absorption lag mit durchschnittlich 15%, um ca. 25% besser als die vertikale Meßmethode, die einen Schätzfehler von 40% aufwies (Abb. 3.2.12).

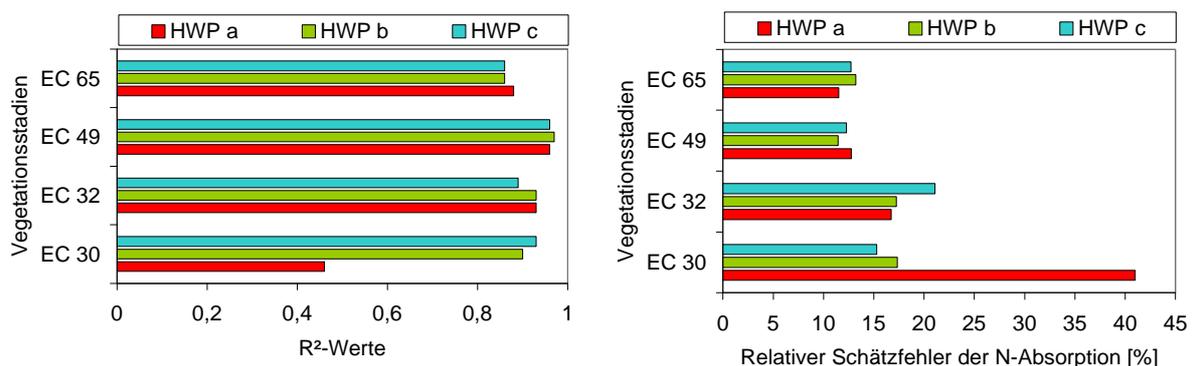


Abbildung 3.2.12: Bestimmtheitsmaße der linearen Regression des REIP (= HWP) bei verschiedenen Messwinkeln (links) und des mittleren relativen Messfehlers (rechts) der geschätzten N-Aufnahme von Winterweizen (Messwinkel a = 0°; b = 40° in Drillrichtung; c = 40° quer zur Drillreihe)

Wintergerste: Ähnlich hohe Genauigkeiten der Schätzung der N-Aufnahme durch Reflexionsmessungen wie bei Winterweizen wurden auch bei Wintergerste erzielt. (Abb. 3.2.13). Durch die höhere Biomasse der Gerste bereits in frühen Entwicklungsstadien (EC 30), im Vergleich zum Winterweizen, liegen sogar bei senkrechter Messung bereits sehr hohe R<sup>2</sup>-Werte vor, so dass die Verbesserung durch die Winkelmessungen (b) und (c) nur noch 4 – 8 % betrug.

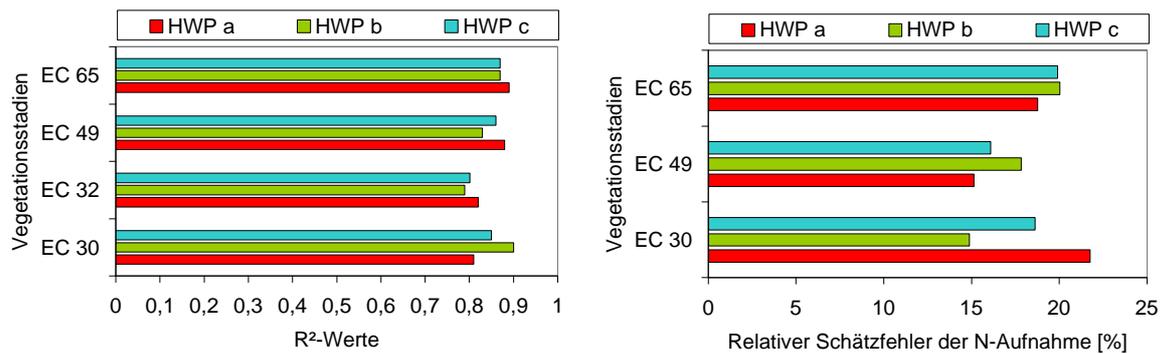


Abbildung 3.2.13: Bestimmtheitsmaße der linearen Regression des REIP (= HWP) bei verschiedenen Messwinkeln (links) und des mittleren relativen Messfehlers (rechts) der geschätzten N-Aufnahme bei Wintergerste (Messwinkel a = 0°; b = 40° in Drillrichtung; c = 40° Blickwinkel quer zur Drillreihe)

Schätzung der N-Aufnahme von Pflanzen aus Reflexionsdaten: Die Abschätzung der Stickstoffaufnahme der Pflanzen aus den Reflexionsdaten lässt sich mit der Erstellung von Regressionsgleichungen zwischen N-Aufnahme und REIP (=HWP) durchführen. Wichtig dabei ist zu wissen, dass je nach Pflanzenentwicklung unterschiedliche Pflanzenteile in verschiedenem Ausmaß zur Reflexion beitragen. Aus diesem Grunde ist es notwendig für die verschiedenen für die Düngung bedeutenden Entwicklungsstadien entsprechende stadienspezifische Gleichungen zu erarbeiten (Abb. 3.2.14). In einzelnen Jahren oder auf unterschiedlichen Standorten weisen die Pflanzen bei gleicher Entwicklung unterschiedliche N-Aufnahmeraten auf. Dies stört jedoch die Regressionsgleichungen nicht (Abb. 3.2.14).

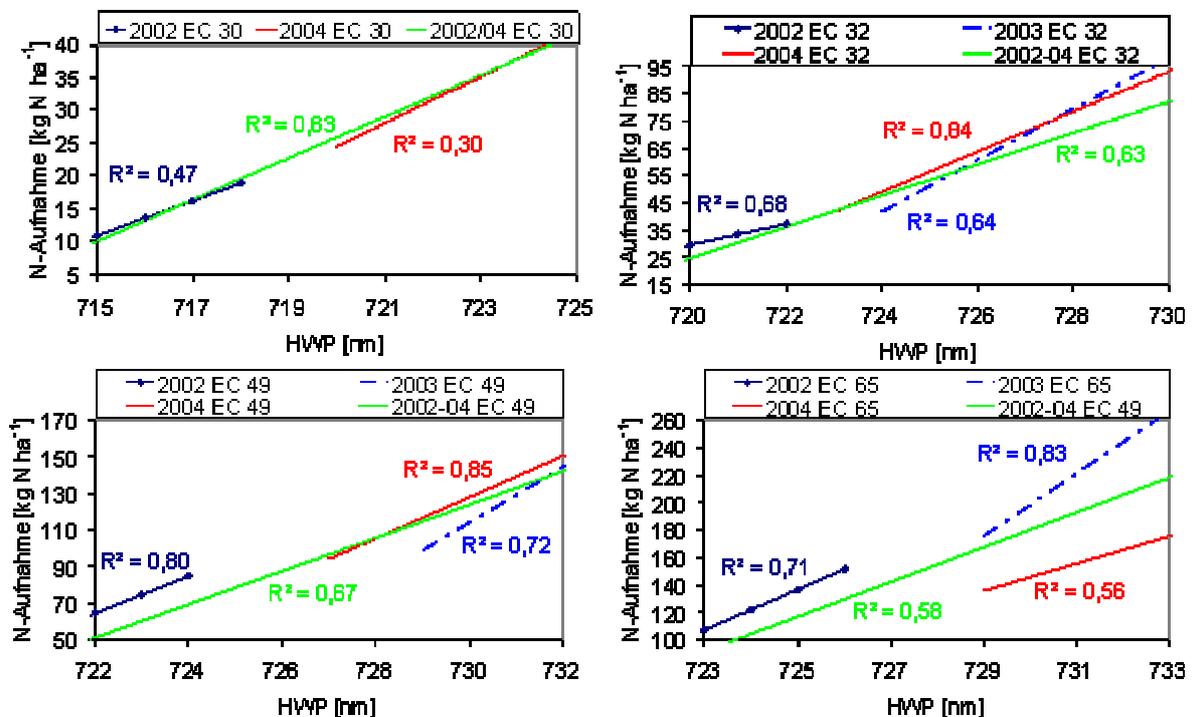


Abbildung 3.2.14: Regressionsgeraden des HWP in nm und daraus resultierende N-Aufnahmen (kg N ha<sup>-1</sup>) in Abhängigkeit vom Vegetationsjahr und Messtermin bei Winterweizen (3 Jahre, 5 Sorten, 9 Standorte und 14 N-Stufen)

Die Gleichungen einzelner Jahre liegen im Bereich der entsprechenden Gleichung mehrerer Jahre. Lediglich zur Blüte (EC 65) ergänzen sich die Gleichungen der Einzeljahre nicht zu einer Geraden. Zu diesem Termin sollte aber ohnehin aus Gründen der schlechteren N-Verwertung Getreide nicht mehr gedüngt werden.

**Kartoffeln:** Die reflexionsoptische Bestimmung der Vegetationsindizes erfolgte an morphologisch extrem unterschiedlichen Kartoffelsorten Bonanza (Blatttyp, dunkle Färbung und Tomba (Stengeltyp, helle Färbung) mit differenzierter N-Düngung N1 – N14 (0 – 150 kg N ha<sup>-1</sup>). Die unterschiedlichen Erscheinungsformen der verwendeten Kartoffelsorten machte eine sortenspezifische Betrachtung der spektraloptischen Reflexionssignatur erforderlich.

Entsprechend dem Wintergetreide, konnte sich auch bei Kartoffeln der Vegetationsindex HWP (= REIP) zur Abbildung des aktuellen N-Status bei den spektraloptischen Messungen deutlich gegen die anderen Indizes behaupten (Abb. 3.2.15). Bereits 20 Tage nach dem Auflaufen (entspricht etwa 20-30 cm Wuchshöhe) wurden Bestimmtheitsmaße größer 50 % erreicht. Insgesamt konnte jedoch bei Kartoffeln deren N-Aufnahme aus Reflexionsdaten nicht mit der Güte abgeschätzt werden, wie dies bei Getreide der Fall war.

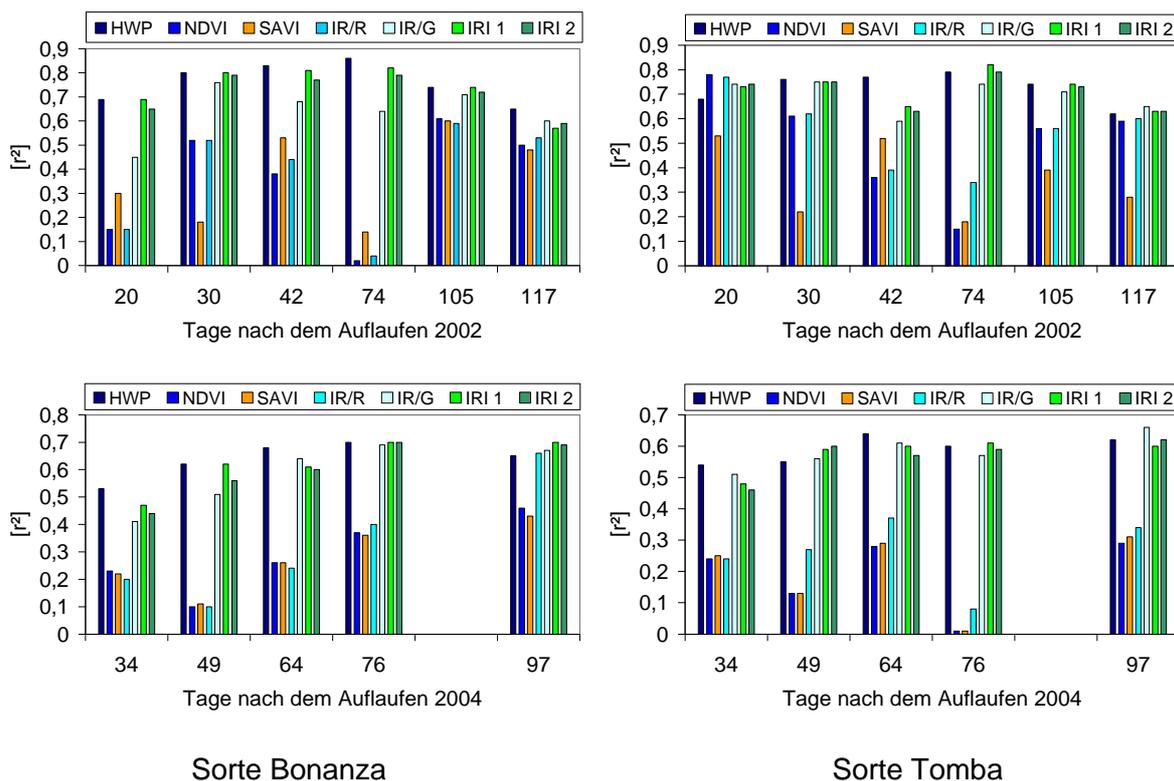


Abbildung 3.2.15: Bestimmtheitsmaß  $R^2$  zwischen den Vegetationsindizes und dem aktuellen N-Status in Abhängigkeit vom Messtermin der Sorten Bonanza und Tomba (Mittel über 14 N-Stufen mit 0 – 150 kg N ha<sup>-1</sup>)

**Mais:** Als vierte wichtige landwirtschaftliche Kulturpflanze sollten Untersuchungen zur spektralen Bonitur des aktuellen N-Status bei Mais durchgeführt werden. Entsprechend dem Wintergetreide wurden auch im Maisversuch morphologisch extrem unterschiedliche

Maissorten verwendet und diese verschieden gedüngt. Auffallend sind neben dem HWP die hohen R<sup>2</sup>-Werte der beiden Zweiband-Indizes IRI 1 (740 nm/730 nm) und IRI 2 (740 nm/720 nm) (Abb. 3.2.16).

Die Betrachtung der unterschiedlichen Indexwerte der Sorten Banguy, Lukas LG 32.26, Magister und Major können sortenspezifischen Attributen wie der Architektur der Blattstellung (pyramidal, erectophil oder planophil), Inhaltsstoffkonzentrationen (Chlorophyllgehalt) als auch externen (epidermalen) und internen Blattstrukturen (z.B. Interzellularen und Vakuolen) zugeschrieben werden (Tab. 3.2.4). Am geringsten werden die geprüften Indizes HWP, IRI 1 und IRI 2 durch unterschiedliche Sorteneigenschaften beeinflusst (Tab. 3.2.4).

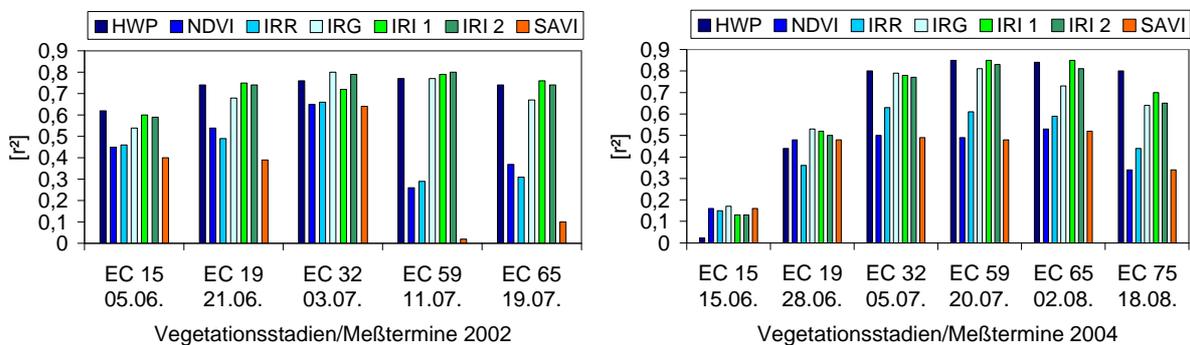


Abbildung 3.2.16: R<sup>2</sup>-Werte der linearen Regression zwischen verschiedenen Vegetationsindizes und der N-Aufnahme (kg N ha<sup>-1</sup>) von Zea mays L. in Abhängigkeit vom Vegetationsstadium/Messtermin (Mittel über zwei Standorte (Hoch- u. Niedrigertragzone); zwei Saatstärken (8 und 12 Körner/m<sup>2</sup>) und 4 N-Stufen (0 – 170 kg N ha<sup>-1</sup>)

Tabelle 3.2.4: Vegetationsindizes verschiedener Maissorten (3 Jahre, 4 N-Stufen, 5 EC-Stadien; verschiedene Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede, p < 0,05)

Sorte	Vegetationsindizes						
	HWP	NDVI	IRR	IRG	IRI1	IRI2	SAVI
Lukas	724,9 b (100)	0,78 ab (100)	14,04 b (100)	6,36 b (100)	1,339 b (100)	1,904 b (100)	0,97 ab (100)
LG 32.26	723,7 a (99,8)	0,76 a (97,4)	11,49 a (81,8)	5,49 a (86,3)	1,295 a (96,7)	1,788 a (93,9)	0,94 a (96,9)
Banguy	724,97 b (100,01)	0,81 b (103,9)	14,38 b (102,4)	6,51 b (97,7)	1,343 b (100,2)	1,917 b (100,7)	1,03 b (106,2)
Major	725,2 b (100,04)	0,762 a (97,7)	12,11 a (86,3)	6,14 b (96,5)	1,336 b (99,8)	1,899 b (99,7)	0,95 a (97,9)

### 3.2.2.3 Düngesystem für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische Stickstoffapplikation zu Winterweizen

Die bisherigen Düngesysteme landwirtschaftlicher Kulturpflanzen basieren in der Regel auf entsprechenden Bodenuntersuchungen. Vereinzelt werden auch Stickstoffsimulationsmodelle genutzt. Für eine sensorgestützte teilflächenspezifische N-Düngung ist jedoch ein Düngesystem notwendig, welches auf dem Ernährungsstatus der Pflanze aufbaut, da der Sensor nur diesen erfassen kann. Vor diesem Hintergrund wurden auf Teilflächen unterschiedlicher Ertragspotentiale Stickstoffdüngungsversuche zu Winterweizen durchgeführt und zu charakteristischen Entwicklungsstadien Pflanzenproben entnommen und deren Biomasseaufwuchs und N-Gehalt bestimmt. Es zeigte sich, dass zur Ausnutzung des standortspezifischen Ertragspotentials zu bestimmten EC-Stadien jeweils charakteristische optimale N-Gehalte notwendig sind (Abb. 3.2.17).

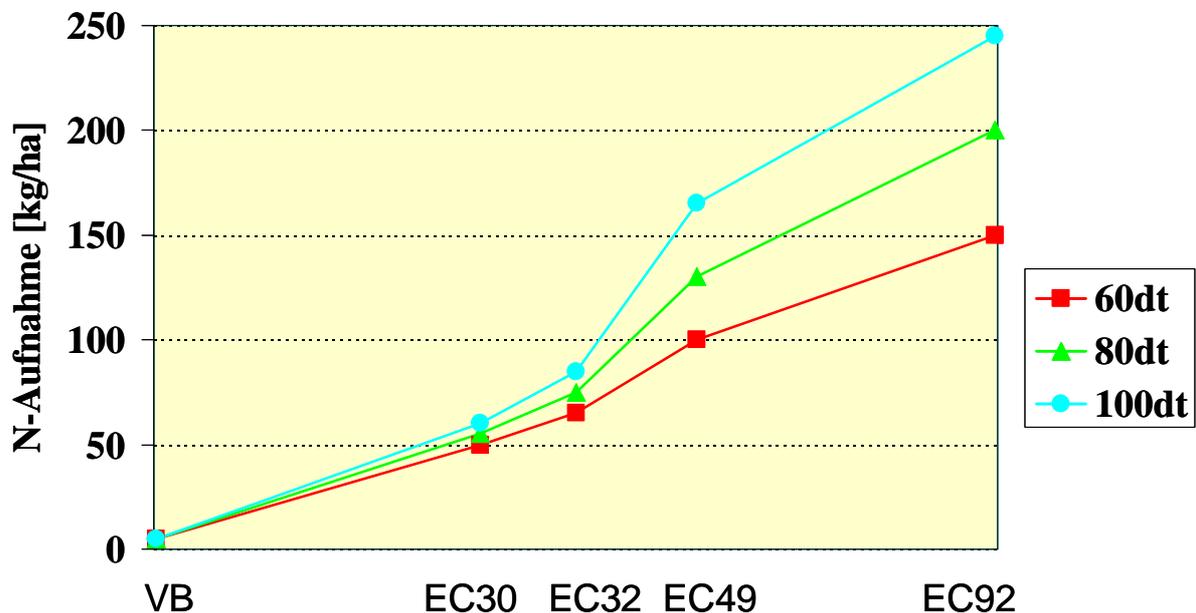


Abbildung 3.2.17: Optimale N-Aufnahmekurven für Winterweizen nach dem „Pflanzenbeobachtungsmodell TUM“ zu agronomisch relevanten Entwicklungsstadien in Abhängigkeit des teilflächenspezifischen Ertragspotentials

In frühen EC-Stadien unterscheiden sich die optimalen N-Aufnahmewerte verschiedener Teilflächen unterschiedlicher Ertragspotentiale wenig. Mit zunehmendem Wachstum kommt es jedoch zu einer immer stärkeren Differenzierung. Die Erklärung hierfür ist darin zu sehen, dass auf Niedrigertragsstandorten die Einzelährenerträge niedriger sind und damit nur wenig geringere Bestandesdichten und Strohmassen produziert werden müssen als auf Hohertragsstandorten.

In vergleichenden Feldexperimenten mit anderen Düngesystemen wurden in einem zweiten Schritt die Ertragsleistungen des hier entwickelten Düngesystems mit dem anderer Düngesysteme verglichen. In den Vergleich wurden folgende Systeme einbezogen: DSN, EUF, Expert-N, Hermes und das hier entwickelte System, nachfolgend stets mit System

TUM bezeichnet. DSN baut auf der Nmin-Analyse auf. Bei EUF handelt es sich ebenfalls um ein Bodenuntersuchungssystem. Expert-N und Hermes hingegen sind Stickstoffsimulationsmodelle. Basierend auf umfangreichen Bodendaten und täglichen Witterungsdaten wird die N-Mineralisation im Boden und die N-Aufnahme von Weizen simuliert und aus der Differenz zwischen N-Mineralisation und N-Aufnahme die Stickstoffdüngermenge abgeleitet. In Abbildung 3.2.18 sind zweijährige Ergebnisse von fünf unterschiedlichen Standorten dieses Systemvergleichs dargestellt.

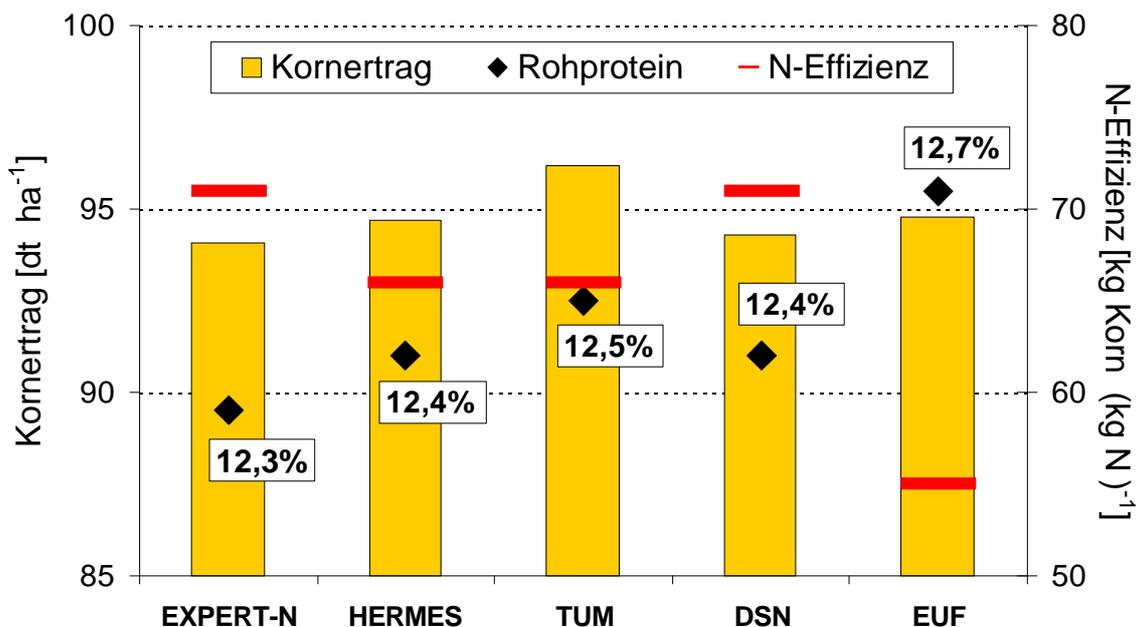


Abbildung 3.2.18: Kornerträge und N-Effizienz von Winterweizen des Pflanzenbeobachtungsmodells TUM im Vergleich mit anderen N-Düngesystemen (Mittel über zwei Jahre und fünf Standorte)

Wie un schwer zu erkennen ist, erbrachte das hier entwickelte System TUM, basierend auf ertragsabhängigen optimalen N-Aufnahmeraten gleiche oder höhere Erträge wie die Vergleichssysteme. Auch hinsichtlich der Kornproteingehalte und der N-Effizienz war das System TUM den anderen Verfahren zumindest nicht unterlegen.

Düngesysteme basierend auf Bodenuntersuchungen oder Simulationsmodellen sind für eine teilflächenspezifische N-Düngung wegen der Vervielfachung des Arbeitsaufwands entsprechend der Zahl der gebildeten Teilschläge nicht geeignet. Das hier entwickelte System TUM hingegen braucht lediglich den N-Status der Pflanzen, welcher mit einem Sensor während der Überfahrt berührungslos erfasst werden kann, sowie entsprechende Abschätzungen des Ertragspotentials, die sich aus mehrjährigen Ertragskarten oder Bodenkarten ableiten lassen. Somit ist dieses Düngesystem für einen Sensoransatz mit Map-Overlay geeignet.

Bei der teilflächenspezifischen N-Düngung werden neben dem Sensoransatz mit Map-Overlay noch der reine Sensoransatz sowie der Mapping-Ansatz diskutiert. Auch hierzu sollten entsprechende Vergleichsversuche durchgeführt werden. Folgende Varianten wurden geprüft:

- schlageinheitliche Düngung, wobei die Düngermenge nach DSN bestimmt wurde
- Mapping: durchschnittliche N-Menge entsprechend der schlageinheitlichen Düngung, aber mit Zu- und Abschlägen je nach Ertragsfähigkeit des Teilschlags
- reiner Sensor-Ansatz: es fand der Yara-Sensor mit seinem Düngealgorithmus Anwendung;
- Sensor mit Map-Overlay: Grundlage war das Dünagesystem TUM.

Die Düngerbedarfsermittlung bei dem in diesem Forschungsvorhaben entwickelten System TUM ist in Abbildung 3.2.19 dargestellt. Die erforderliche Düngermenge ergibt sich aus der Differenz zwischen der aktuellen N-Aufnahme und dem Zielwert zum Düngetermin zuzüglich der N-Aufnahme bis zum nächsten geplanten Düngetermin.

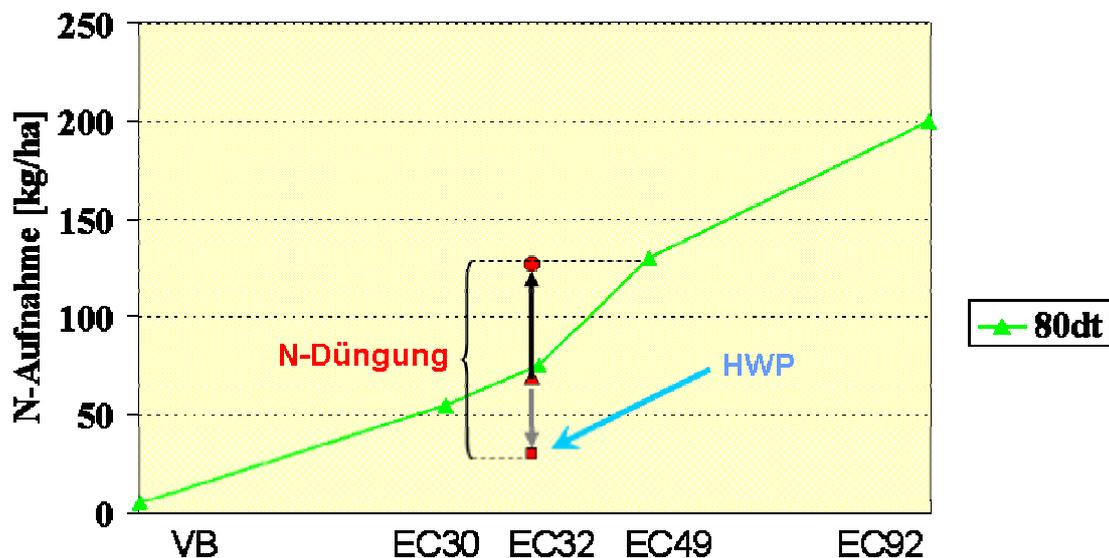


Abbildung 3.2.19: Ermittlung der Düngermenge mit dem Sensor für Winterweizen mit einem standortspezifisches Ertragsniveau von 80 [dt ha<sup>-1</sup>] zum Entwicklungsstadium EC 32 auf Basis des Vegetationsindex Red Edge Inflection Point (REIP od. HWP)

Die schematischen Regelkurven beim Sensoransatz und dem Sensoransatz mit Map-Overlay sind in Abbildung 3.2.20 und 3.2.21 dargestellt. Beim Sensoransatz hat man für den gesamten Schlag eine Regelkurve für die N-Applikation. Schwach ernährte Pflanzen bekommen mehr Stickstoff als kräftig ernährte Pflanzen und umgekehrt. Häufig befinden sich jedoch schwach ernährte Pflanzen auch auf Teilflächen mit niedrigerem Ertragspotential, so dass deren Bedarf ohnehin niedriger ist. Somit ist zwangsläufig die Nährstoffeffizienz im Niedrigertragsbereich geringer. Beim „Sensoransatz mit Map-Overlay“ wird für Teilbereiche unterschiedlicher Ertragspotentiale auf differenzierte Regelkurven zurückgegriffen. Somit wird die Ertragsfähigkeit des Standorts in die Düngung einbezogen werden. D.h. bei gleichem Ernährungsstatus der Pflanzen wird in Abhängigkeit des Ertragspotentials des

Teilschlags mehr oder weniger viel gedüngt. Dieser Ansatz ermöglicht auf allen Teilschlägen die gleiche Nährstoffeffizienz.

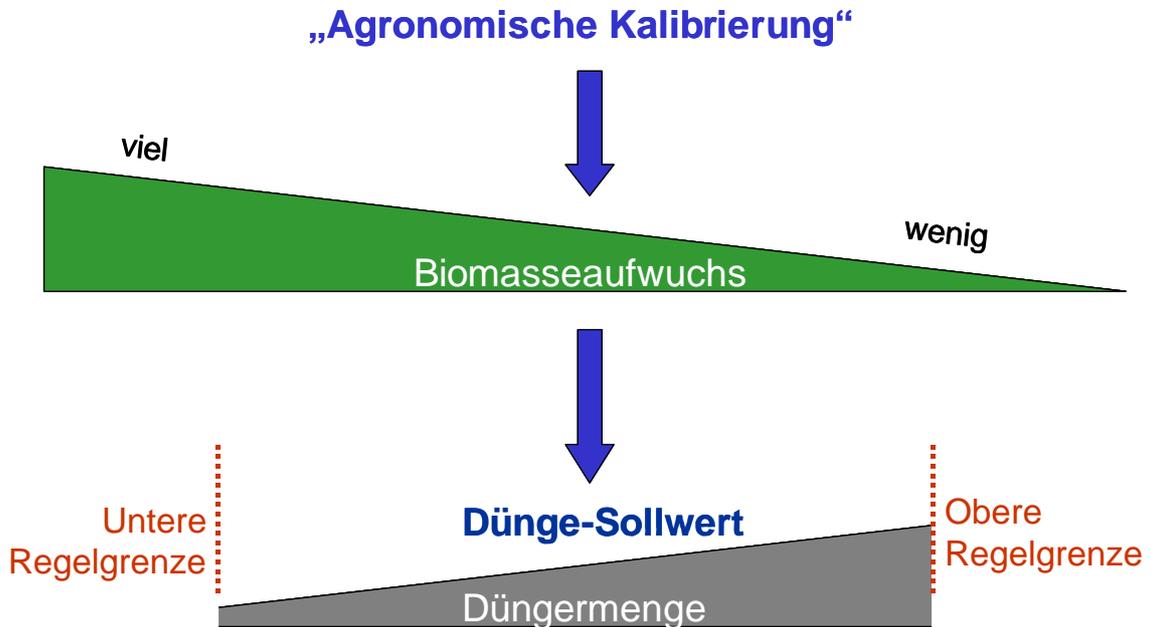


Abbildung 3.2.20: Düngerbemessung nach dem Sensoransatz

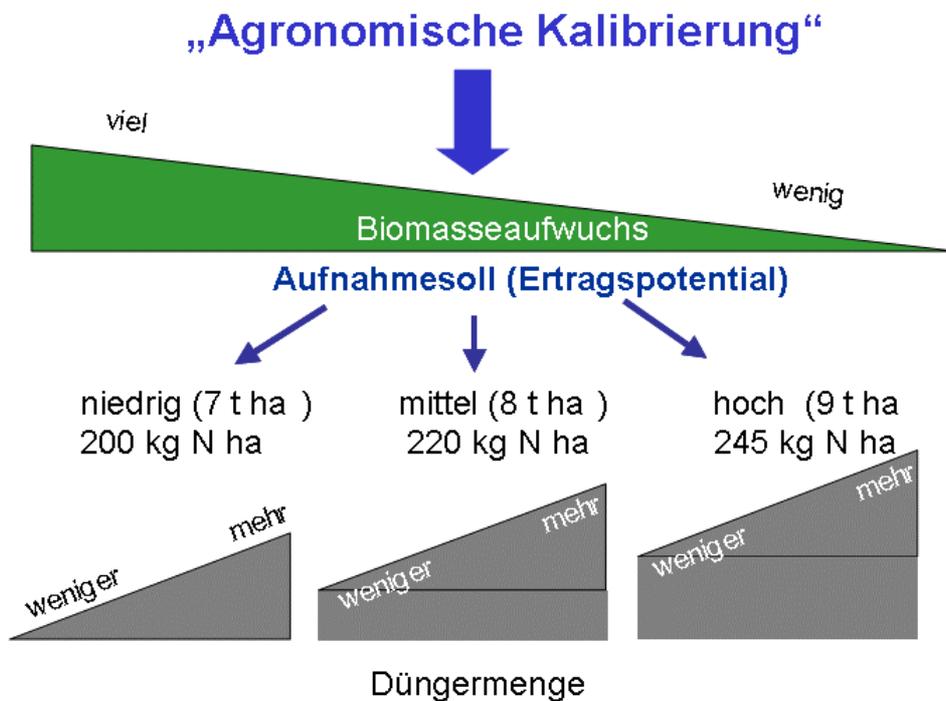


Abbildung 3.2.2.1: Düngerbemessung nach Sensor mit Ertragskartierung: Online + Map-Overlay - Ansatz

Die wichtigsten Ergebnisse des Vergleichs verschiedener Teilschlagdüngesysteme sind in Tabelle 3.2.5 zusammengestellt.

Tabelle 3.2.5: Vergleich verschiedener Systeme einer teilflächenspezifischen N-Düngung zu Winterweizen

Düngesystem				
Ertragspotential	Einheitlich	Mapping	Online	Online + Map.
N-Düngung gesamt [kg ha <sup>-1</sup> ]				
hoch	180	200	163	175
mittel	180	180	193	180
niedrig	180	160	204	146
gesamter Schlag	180	180	187	167
Ertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]				
hoch	101	97	99	102
mittel	86	86	97	96
niedrig	85	79	87	94
gesamter Schlag	91	87	94	97
Proteingehalt [%]				
hoch	11,6	12,0	12,2	12,0
mittel	10,3	10,3	11,4	11,7
niedrig	10,4	9,9	10,9	10,9
gesamter Schlag	10,8	10,7	11,5	11,5
Korn-N-Bilanz [kg N ha <sup>-1</sup> ]				
hoch	3,6	23,2	- 19,2	- 9,6
mittel	48,2	48,2	26,5	10,5
niedrig	45,2	40,4	60,5	- 8
gesamter Schlag	32,3	37,3	22,6	- 2,4
N-Düngungskostenfreie Leistung [€ ha <sup>-1</sup> ]				
hoch	984	947	995	1014
mittel	780	780	822	935
niedrig	745	706	799	889
gesamter Schlag	849	804	902	944

Beim Online- bzw. Sensoransatz wird im Niedrigertragsbereich, wegen der schwächeren Ernährung der Pflanzen, mehr gedüngt als im Hohertragsbereich. Beim Mapping-Ansatz sowie dem Verfahren Online+Map-Overlay ist dies gerade umgekehrt. Bezüglich der Erträge zeigt sich ein positiver Effekt beim Onlineansatz und noch mehr beim Verfahren Online+Map-Overlay. Wegen der niedrigen Düngung beim Onlineansatz im

Hohertragsbereich wurden dort negative N-Bilanzen ermittelt. Im Niedrigertragsbereich hingegen wurden sehr hohe positive N-Salden ermittelt. Diese unterschiedlichen N-Salden auf den verschiedenen Teilschlagbereichen resultieren aus der ausschließlichen Düngerbemessung nach dem Nährstoffstatus der Pflanzen und der fehlenden Berücksichtigung des tatsächlichen Bedarfs. Hohe N-Überbilanzen im Niedrigertragsbereich haben jedoch zu unerwünscht hohe Nitratauswaschungen zur Folge. Nahezu völlig ausgeglichene Stickstoffbilanzen auf allen Teilschlägen wurden bei „Online+Map-Overlay“ beobachtet. Mit diesem Verfahren ist die N-Effizienz auf allen Teilschlägen gleich. Auch erlaubt dieses System auf allen Teilschlägen gleich niedrige N-Bilanzen. Aus ökonomischen wie auch aus ökologischen Gründen wird daher dem Verfahren „Online+Map-Overlay“ der Vorzug gegeben.

#### 3.2.2.4 Fazit und Forschungsbedarf

Zur Durchführung einer teilflächenspezifischen N-Düngung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen mit hoher Intensität ist es notwendig Sensorsysteme zu entwickeln, welche eine genaue Abschätzung des Wachstums und des Ernährungsstatus der Kulturpflanzen ermöglichen sowie Düngungssysteme zu erarbeiten, welche auf dem Nährstoffstatus der Pflanze aufbauen.

In diesem TP konnte gezeigt werden, dass mit den aus Reflexionsmessungen gewonnenen Index REIP (Red Edge Inflection Point) unter Beachtung bestimmter Messanordnungen der Stickstoffstatus von monokotylen Kulturpflanzen (Getreidearten) mit hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. Die Charakterisierung des Nährstoffstatus von dikotylen Kulturpflanzen gelingt derzeit noch nicht mit ausreichender Güte. Störungen verursachen Sortenunterschiede im Pflanzenhabitus und dem Blattaufbau.

Für Winterweizen gelang es ein N-Düngungssystem aufbauend auf dem Ernährungsstatus der Pflanzen zu erarbeiten. Wichtig für eine effiziente Düngung ist eine dem Ertragspotential des Standorts angepasste Nährstoffversorgung. Der Sensor-Ansatz mit Map-Overlay ist dem reinen Mapping- oder Sensor-Ansatz eindeutig der Vorzug zu geben. Nur so ist eine ökonomisch und ökologisch optimale Düngung zu realisieren. Für andere monokotyle Kulturpflanzen, insbesondere aber für dikotyle Arten sind entsprechende Düngesysteme noch zu entwickeln.

Wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Projektbereich:

- Dipl.-Ing. agr. J. Liebler (TP 3)
- Dipl.-Agr.Biol. A. Schmid (TP 9)
- Dipl. Geogr. T. Steinmayr (TP 1)
- Dipl.-Agr. Biol. F. Ruthenkolk (TP 4)
- M.Sc. I. Manakos (TP 5)
- Dipl.-Ing. agr. C. Augsburg (TP 7)
- Dipl. Ing. agr. B. Mistele (TP 10)
- Dipl. Kaufm. G. Weigert (TP 12)
- Dipl.-Ing. agr. M. Gandorfer (TP 13)

### 3.2.3 Literatur

- [1] **Deering, D., Leone., P., 1986.** A sphere-scanning radiometer for rapid directional measurements of sky and ground radiance. Remote Sensing of Environment 19, pp.1-24.
- [2] **Deering et al. 1986-1997.** <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/PARABOLA/datasets/selecpub.txt>
- [3] **Demircan, A., Geiger, B., Radke, M., Schonemark, M., 2000.** Bi-directional Reflectance Measurements with the CCD Line Camera WAAC. Remote Sensing Reviews (RSR), 19 (1-4), pp. 95-110.
- [4] **Dorigo, W., Richter, R. and Müller, A., 2005.** A Lookup table approach for biophysical parameter retrieval by radiative transfer model inversion applied to wide field of view data, Proc. 4<sup>th</sup> EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Warsaw, Poland.
- [5] **Jacquemoud, S., Baret, F., 1990.** PROSPECT: A Model of Leaf Optical Properties Spectra. Remote Sensing of Environment, 34, pp.75-91.
- [6] **Sandmeier, S., R., Itten, K., I., 1999.** A field Goniometer System (FIGOS) for Acquisition of Hyperspectral BRDF Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.
- [7] **Schneider, Th., Zimmermann, S., Manakos, I., 2004:** Field goniometer system for accompanying directional measurements; Proc. CHRIS/ Proba workshop, 28-30.03.2004 Frascati, Italien, ESA publication

### 3.3 Prozesssteuerung

Dem Bereich Prozesssteuerung kam in der Forschergruppe eine zentrale Bedeutung zu. Von ihm wurde

- die Forschergruppe initiiert,
- in der Sprecherfunktion die Forschergruppe geführt,
- die Prozessdatenerfassung realisiert, validiert und automatisiert,
- lokale Information über den Ertrag allen Teilprojekten zur Verfügung gestellt,
- die Umsetzung des Online-Ansatzes mit Kartenüberlagerung realisiert.

Die im Gesamtvorhaben definierten Fragestellungen wurden in vier Bereichen bearbeitet. Es wurden termingerecht herausragende Ergebnisse erzielt.

#### 3.3.1 Open Source Modell für die mobile elektronische Kommunikation

Aufgrund der initiativen Tätigkeit durch den Sprecher der Forschergruppe im Bereich der mobilen elektronischen Kommunikation mit Gründung eines ersten Arbeitskreises zur Standardisierung 1984 und der Übernahme des Vorsitzes bei der Standardisierung des „Landwirtschaftlichen BUS-System's (LBS)“ 1986 nach DIN 9684, sowie der Initiierung der internationalen Normung ISO 11783 in 1989 und dessen Ausrichtung auf die Beibehaltung der LBS-Funktionen wurde auch für die Forschergruppe auf den erreichten Standard gesetzt. Ziel war eine Umsetzung der in der Norm geschaffenen theoretischen Definitionen, die Weiterentwicklung bestehender Testimplementationen und die beispielhafte Anwendung für alle Belange der Gruppe, um die Anwendung zu stimulieren und mögliche Erweiterungen aufzuzeigen.

##### 3.3.1.1 Open Source Modell

Der Übergang von der mechanisch-hydraulischen Landtechnik in eine mechatronische Form vollzog sich nach anfänglichem Zögern ab Anfang der 90-Jahre sehr schnell und zugleich umfassend in allen Anwendungsbereichen. Deutschland und Mitteleuropa haben dabei eine Weltspitzenposition erreicht und zugleich durch die hier initiierte Normung einer standardisierten mobilen elektronischen Kommunikation einen „Know how – Vorsprung“ erarbeitet. Allerdings waren mit dieser Entwicklung viele Unternehmen überfordert, denn sie hatten es mit einer neuen und vielfach unbekanntem Technologie zu tun. Für die Integration fehlten erfahrene Mitarbeiter und das überwiegende Denken in „mechanischen Strukturen“ schränkte die neuen Freiheiten ein. Umsetzungen des Standards LBS erfolgten deshalb eher halbherzig oder scheiterten an der Komplexität des erstellten Standards.

Als Lösung und Zielsetzung für diese Situation (die in gleicher Weise auch für ISO 11783 und für danach folgende Standards zu erwarten ist) wurde die Umsetzung der gesamten LBS-Norm in einer Bibliothek **LBS<sub>lib</sub>** als „Freie Software (Open Source)“ vorgeschlagen und

damit dieser zukunftsweisende Ansatz erstmals im landwirtschaftlichen Bereich realisiert. Damit sollte es möglich sein:

- Die erforderliche Software für die Kommunikation nach einer ersten Erstellung für jedermann frei verfügbar zu machen
- noch enthaltene Fehler bei vielfacher Nutzung schnell zu erkennen und gemeinsam zu beseitigen
- Programmierkapazitäten effizienter zu nutzen
- die Entwicklungszeitspanne zu verkürzen
- insgesamt die Kosten zu senken.

Wird diese Form der Software von allen LBS-Entwicklern und LBS-Geräteherstellern eingesetzt, dann sind die damit erstellten Systeme immer kompatibel, weil sie letztendlich auf die gleiche, einheitliche Software aufbauen. Gleiches gilt für Erweiterungen und Ergänzungen.

### 3.3.1.2 LBS<sub>Lib</sub> und ISO<sub>AgLib</sub>

Die in der LBS<sub>lib</sub> realisierte Aufgabenverteilung wird in Abbildung 3.3.1 dargestellt, wobei die Elemente EEPROM\_IO, Sensor\_I, Actor\_O, RS232\_IO, LBS\_Terminal optional sind.

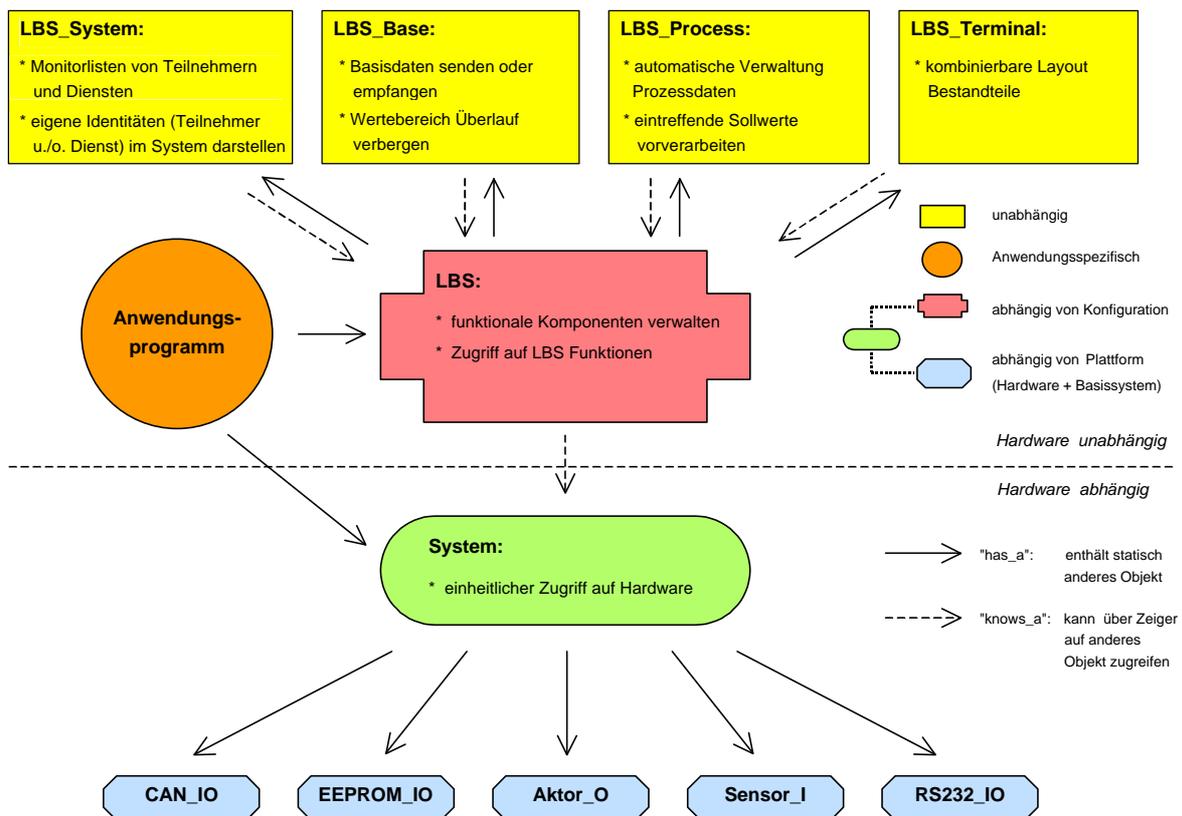


Abbildung 3.3.1: Struktur der LBS<sub>Lib</sub> als „Open Source Model“

Um eine möglichst einfache Anpassung auf unterschiedliche Rechner zu ermöglichen und um den Umfang der identisch nutzbaren Quelltexte zu erhöhen, wurde eine Schichtstruktur entwickelt. Dabei wird in der untersten Anpassungsschicht mit wenigen Dateien eine

einheitliche Schnittstelle zur Hardware geschaffen. Darauf aufbauend liefert eine Abstraktionsschicht wichtige Zusatzfunktionen. In der obersten Schicht, dem Großteil der  $LBS_{lib}$ , ist die Kommunikation implementiert. Dieser Teil kann überall unverändert eingesetzt werden, so dass Fehler schneller behoben werden und eine koordinierte Optimierung möglich ist.

Die gesamte Norm wurde nach diesem Konzept in einem „Open Source Model“ als frei verfügbarer Code in C++ erstellt und über Internet unter den Bedingungen der „Lesser General Public Licence“ [1] als  $LBS_{lib}$  veröffentlicht. Nach ersten Integrationen aus der ISO 11783 (ISOBUS) wurde mittlerweile auch die gesamte ISO-Norm in die nunmehr  $ISO_{AgLib}$  bezeichnete neue Bibliothek wiederum nach dem „Open Source Model“ integriert (Abb. 3.3.2).

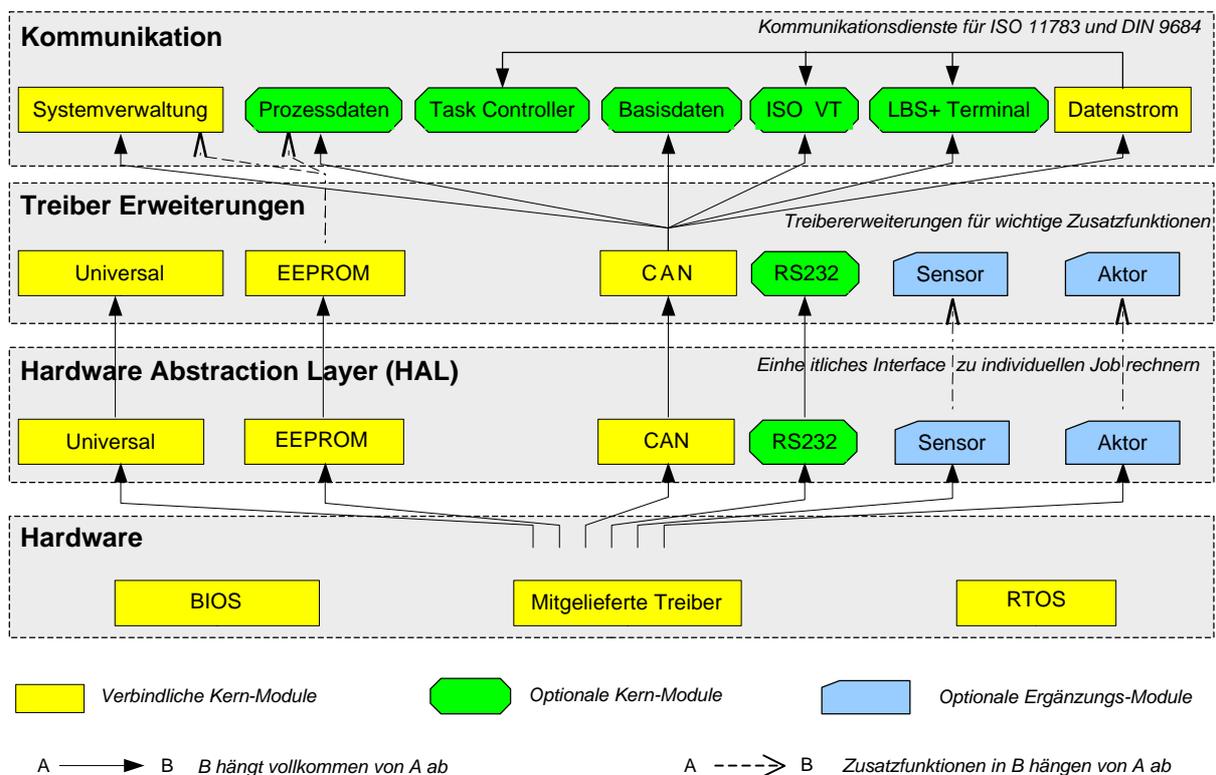


Abbildung 3.3.2: Struktur der  $ISO_{AgLib}$  als „Open Source Model“

### 3.3.1.3 Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen

Mit diesen Arbeiten steht erstmals weltweit ein Open Source Modell für die Landtechnik und zugleich für die Landwirtschaft zur Verfügung. Testimplementationen bestätigen, dass damit die definierten Ziele erreicht wurden.

Der Forschungsstand auf diesem Sektor ist somit der Weltspitze zuzuordnen. Einladungen an die beteiligten Wissenschaftler zu Forschergruppen im landwirtschaftlichen Robotikbereich bestätigen den hohen Stand. Erste Umsetzungen in der Industrie deuten auf eine zunehmende Akzeptanz, wobei die Normkonformität, die schnelle Umsetzung einer Aufgabe und die damit möglichen niedrigeren Kosten herausgestellt werden.

Folgeuntersuchungen sollten abklären, inwieweit dieser Modellansatz auf andere landtechnische und landwirtschaftliche Fragestellungen übertragen werden könnte (Dokumentation, Traceability, Prozessdatenanalyse, andere).

Wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Projektbereich:

- Dipl. Inform. A. Spangler (TP 2)
- Dipl.-Ing. R. Ostermeier (TP 8)
- M. Sc., Dipl.-Ing. (FH) M. Ehrl (Grundausrüstung)
- Dipl.-Ing. agr. M. Rothmund (Grundausrüstung)

### 3.3.2 Automatische Prozessdatenerfassung

Für das angedachte „Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung Dürnast“ sind Prozessdaten eine unverzichtbare Eingangsgröße. Eine Schlüsselposition nimmt dabei der Ertrag als „Ergebnis der Bewirtschaftungsmaßnahmen“ im Mapping-Ansatz und als eine mögliche Begrenzung in der Kartenüberlagerung ein. Benötigt werden zudem alle begleitenden Prozessinformationen für eine ökonomische und ökologische Bewertung und Optimierung.

Diese Anforderungen konnten zu Beginn des Vorhabens über verfügbare Technologien lediglich für die Ertragsermittlung im Mähdrescher abgedeckt werden, wobei jedoch Informationen über die damit erreichbaren Genauigkeiten nur spärlich vorhanden waren. Ansätze für eine umfassende automatische Prozessdatenerfassung existierten hingegen weder in Modellvorstellungen noch in Test- oder Pilotanwendungen. Deshalb wurden zwei Ziele definiert:

- Zum einen sollten im vorhandenen Teststand Reihenuntersuchungen über die Messfehler in Ertragsmessgeräten für Mähdrescher die bestehende Wissenslücke schließen und Kenngrößen für mögliche Korrekturalgorithmen bei der Ertragskartierung bereitstellen.
- Zum anderen sollte ein Konzept und eine Pilotanwendung für eine betriebsumfassende automatische Prozessdatenerfassung auf der Versuchsstation Dürnast geschaffen und getestet werden.

#### 3.3.2.1 Ertragsmessdaten im Mähdrescher

Die verfügbaren Ertragsmesssysteme für Mähdrescher beruhen auf unterschiedlichen Messprinzipien [2, 3]. Es ist deshalb zu erwarten, dass unter gleichen Bedingungen unterschiedliche Ergebnisse erreicht werden, weil neben unterschiedlichen Sensoren jeweils spezifische Erfassungsalgorithmen in Verbindung mit dazugehöriger Auswertesoftware und unterschiedliche GPS-Empfänger eingesetzt werden. Deshalb sollten die Messfehler der verfügbaren Ertragsmesssensoren neben Weizen auch für Raps, Roggen, Gerste und Körnermais unter Laborbedingungen ermittelt und Kenngrößen für eine Anpassung in der nachfolgenden Kartierung geschaffen werden.

**Messgenauigkeit:** Die sehr umfangreichen Messungen erfolgten im Ertragsmessgeräteprüfstand [4] an unterschiedlichen Standorten. Als summarische Messfehler werden die Abweichungen der Durchsatzchargen (jeweils 2 t Gut) zwischen Anzeige des Ertragsmesssystems und Radlastwaage bei 5 Wiederholungen bezeichnet. Jeweils 5 Durchsätze mit je 4 t Gut vor der Versuchsserie dienten der Kalibrierung des Systems. Die einzelnen Versuche umfassten

- 6 verschiedene Ertragsmesssysteme
- 5 Fruchtarten (Roggen, Gerste, Weizen, Raps und Körnermais)
- 5 Korndurchsatzmengen (10, 15, 20, 25, 30 t/h)
- 5 Neigungen mit jeweils 3 Stufen
- 4 Gutstromformen (nur bei Weizen; kontinuierlich, Durchsatzrampe, oszillierender Durchsatz und Step-Flow [5, 6])

Zwischen den Ertragsmesssystemen zeigten sich gravierende Unterschiede bei der summarischen Genauigkeit mit mittleren Abweichungen zwischen -17 und +15 %. Die Abweichungen konnten jedoch sehr gut dem jeweiligen Messsystem und/oder den spezifischen Untersuchungsbedingungen zugeordnet werden. Ein ausgewähltes Beispiel für ein radiometrisches Messprinzip zeigt bei fünf untersuchten Fruchtarten Abbildung 3.3.3:

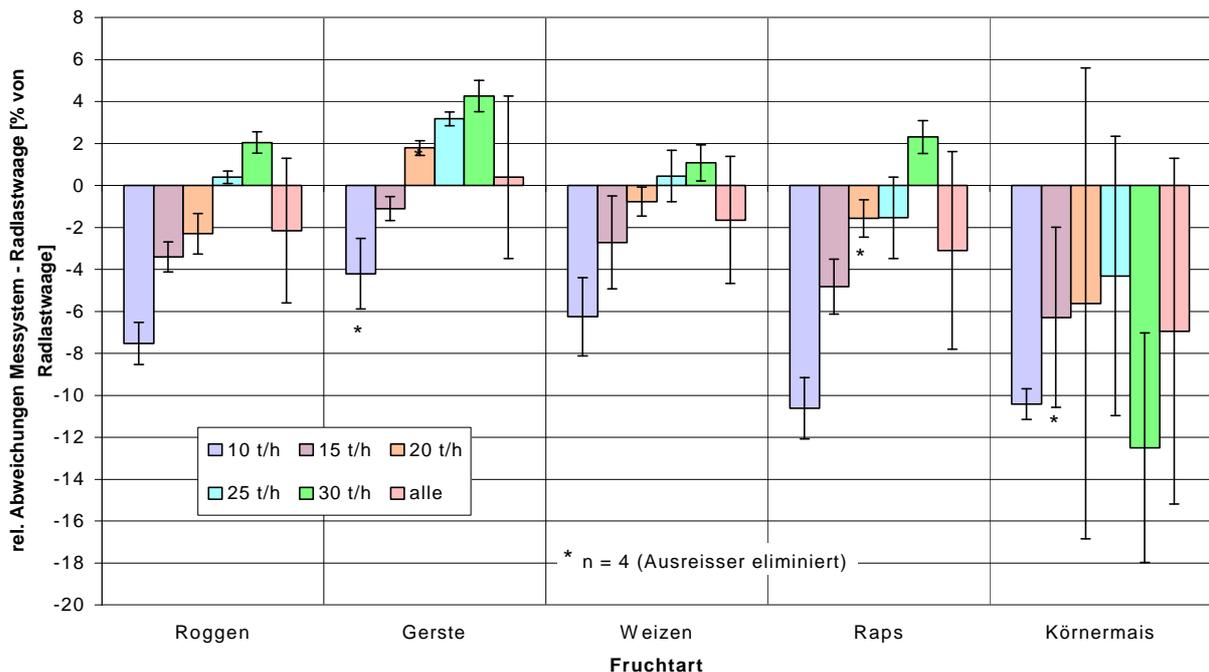


Abbildung 3.3.3: Arithmetisches Mittel und Standardabweichungen der einzelnen Abweichungen eines radiometrischen Ertragsmesssystems bei verschiedenen Durchsätzen und Fruchtarten (n = 5 Wiederholungen pro Variante)

Danach zeigen sich in der Tendenz gleiche Abweichungsmuster für Roggen, Gerste, Weizen und Raps. Ausgehend von einer zu geringen Durchsatzanzeige wird mit zunehmendem Durchsatz die negative Abweichung immer geringer und führt bei Maximaldurchsätzen zu einer zu hohen Anzeige. Folglich kann dieses Messverhalten als eine nicht ausreichende interne Systemkalibrierung interpretiert werden.

Abweichend davon ist das Verhalten des Probanden beim Einsatz in Körnermais. Nunmehr liegt generell eine viel geringe Anzeigemenge vor, welche absolut wesentlich größer ist als bei Getreide und Raps und bei Maximaldurchsatz in der Abweichung sogar den größten Wert erreicht. Deshalb ist zu vermuten, das diese Fruchtart in der Kalibrierroutine des Sensors nicht oder nur unzureichend berücksichtigt ist.

**Messrauschen:** Zudem interessiert für die kleinräumige Messwerterfassung das Messrauschen. Dieses wurde exemplarisch an Weizen untersucht und diente zugleich als Vorstufe für die Analyse des Messverhaltens bei wechselnden Durchsätzen. Gegenüber den vorgenannten Untersuchungsreihen wurde bei dieser Analyse die Gutzufuhr über eine Linearregelung gesteuert und die aktuelle Massenzufuhr über eine Messzelle ermittelt. Exemplarisch werden die Ergebnisse bei einem konstanten Durchsatz von 10 t/h für drei unterschiedliche Messsysteme in Abbildung 3.3.4 dargestellt:

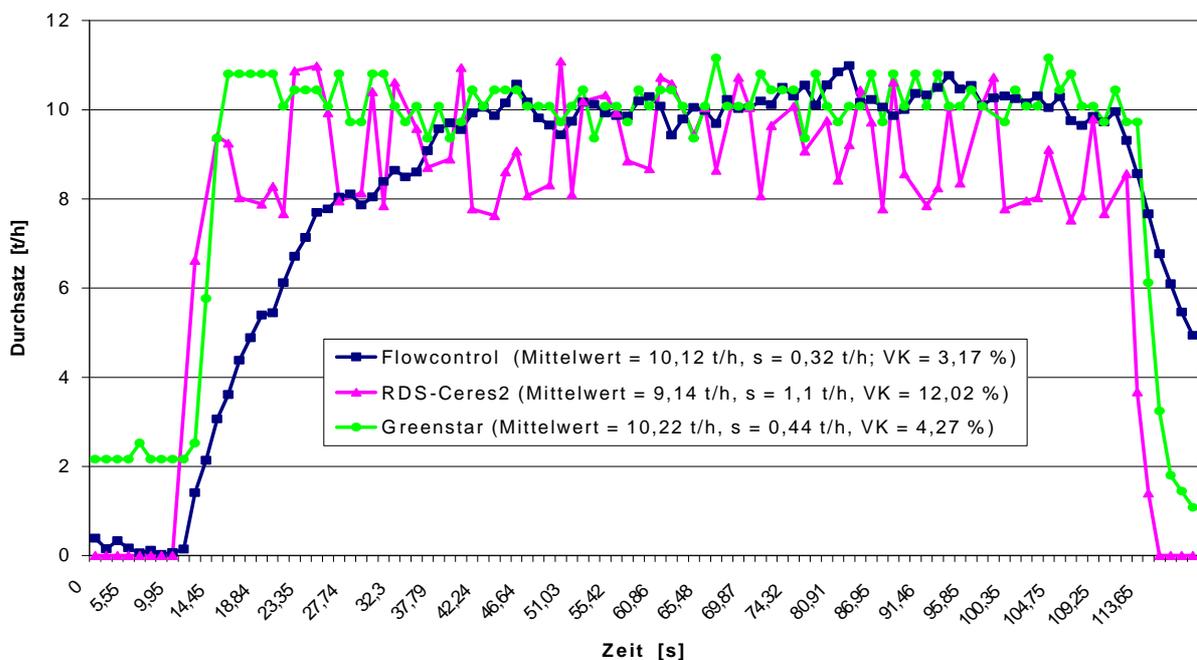


Abbildung 3.3.4: Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei konstantem Durchsatz von 10 t/h und horizontaler Lage bei W-Weizen

Es zeigen sich drei wesentliche Ergebnisse:

- Fehlender Korndurchfluss wird nicht von allen Systemen erkannt
- Die Anzeige des Korndurchflusses differiert über der Zeit, woraus auf unterschiedliche Glättungsalgorithmen in den Sensoren geschlossen werden kann
- Jeder Sensor hat ein spezifisches „Rauschen“ um den wahren Durchsatzwert

**Messverhalten bei variablen Durchsätzen:** Aufbauend auf die vorgenannten Versuchsergebnisse wurden in einer Simulation „vorgegebene Durchsatzmuster“ untersucht.

Damit sollte der Fehler durch den Messversatz ermittelt und als Korrekturgröße für die räumliche Ertragszuordnung der Einzelmesswerte definiert werden. Exemplarisch werden die Messergebnisse für den oszillierenden Durchsatz im sog. „Step-Flow“ von 30 – 20 – 30 – 10 t/h in einem zeitlichen Wechsel von jeweils 40 s in Abbildung 3.3.5 dargestellt:

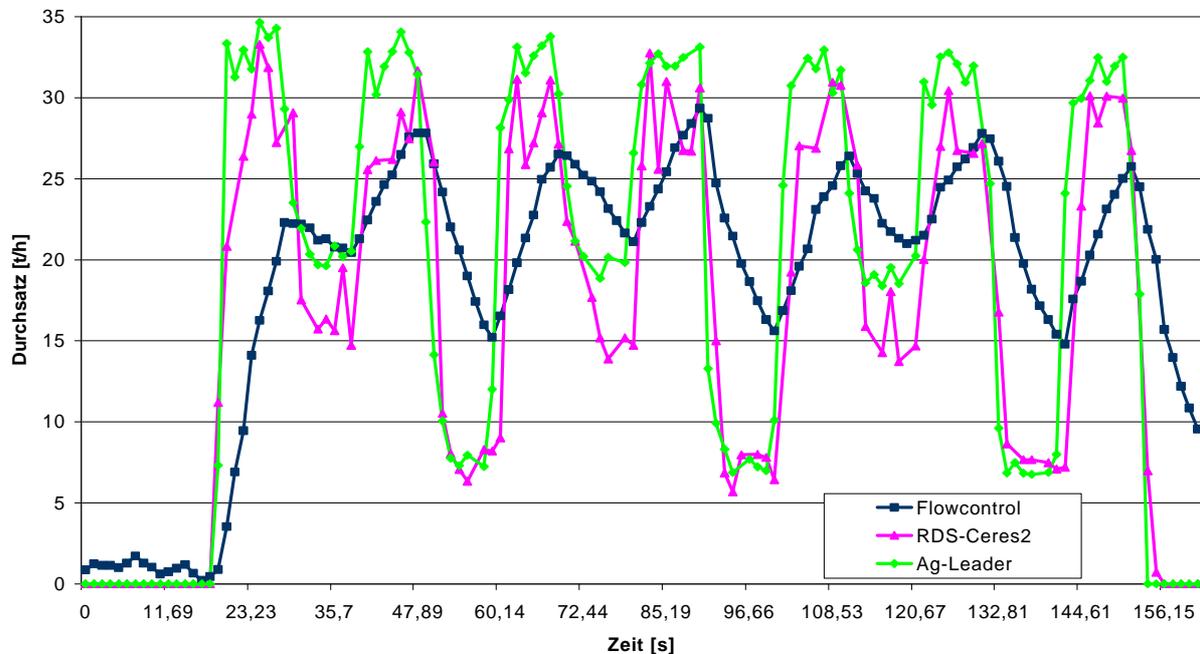


Abbildung 3.3.5: Aufzeichnung der aktuellen Durchsatzwerte dreier Systeme bei einem „Step-Flow“ und horizontaler Lage bei W-Weizen

Auch diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die ermittelten und angezeigten Ertragsmesswerte (Durchflusswerte) immer in Abhängigkeit vom jeweiligen Sensorsystem gesehen werden müssen. Eine nach gleichen Algorithmen erstellte Ertragskartierung wird ohne diese Berücksichtigung immer zu unterschiedlichen Karten = Aussagen führen.

### 3.3.2.2 Verfahrenstechnische Prozessdaten

Gegenüber der automatischen Erfassung der Ertragsdaten in einem Mähdrescher als einem in sich geschlossenen System muss bei Traktor-Gerätecombinationen von einem „offenen System“ ausgegangen werden. Prozessdaten fallen dort in jedem Teilsystem an. Es ist jedoch auch künftig nicht davon auszugehen, dass jedes der integrierten Teilsysteme über eine eigenständige und leistungsfähige Elektronik verfügen wird (z.B. Walzen, Schleppen, Transportfahrzeuge, Tieflockerer, andere). Hinzu kam, dass die Aufgabe der Prozessdatenermittlung in den BUS-Normungen nicht explizit als normungsbedürftig angesehen wurde.

Deshalb musste für die Ermittlung von Prozessdaten in Traktor-Gerätecombinationen ein eigenes System entwickelt werden. Als Basis dafür wurde die mobile elektronische Kommunikation nach DIN 9684 in der LBS<sub>Lib</sub> gewählt. Für elektroniklose Geräte/Maschinen

wurde mit dem „Implement Indicator IMI“ eine Erweiterung der LBS-Norm geschaffen. Zudem wurden die Funktionen des Task-Controllers um die Prozessdatenerfassung erweitert und die EHR als Datenlieferant integriert (Abb. 3.3.6).

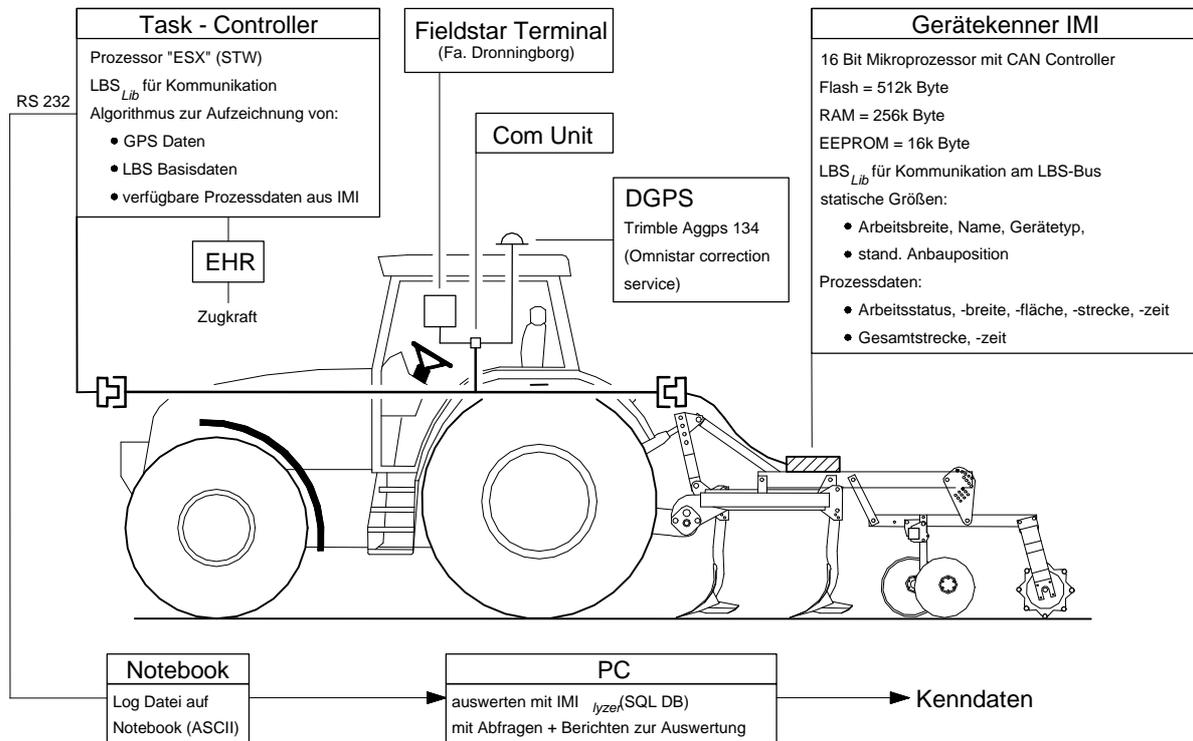


Abbildung 3.3.6: Schematische Darstellung der Prozessdatenerfassung in Traktor-Gerätekombinationen mit LBS, GPS und IMI

Dieses System wurde von 1999 bis 2000 in alle Traktoren und Geräte der Versuchsstation Dürnast integriert und anschließend bei allen Tätigkeiten genutzt. Bis einschließlich 2005 konnten damit die in Tabelle 3.3.1 dargestellten Einzel- und Gesamtdaten ermittelt werden:

Tabelle 3.3.1 Umfang der automatisch ermittelten Prozessdaten auf der Versuchsstation Dürnast von 2000 bis 2005

Jahr	verarbeitete Datensätze	Speicherbedarf (ASCII)	Erfassungstunden	Bemerkungen
2000	472.937	ca. 65 MB	ca. 131	Testphase
2001	1.435.042	ca. 192 MB	ca. 399	Einsatz Versuchsstation Dürnast
2002	1.096.334	ca. 146 MB	ca. 305	Regulärer Einsatz Versuchsstation Dürnast
2003	2.212.684	ca. 295 MB	ca. 615	zusätzlich Versuchsstation Thalhausen
2004	1.648.947	ca. 220 MB	ca. 457	Auswertung nur für ausgewählte Maßnahmen
2005	206.500	ca. 28 MB	ca. 57	Auswertung nur für ausgewählte Maßnahmen
<b>Summe</b>	<b>7.072.444</b>	<b>ca. 946 MB</b>	<b>ca. 1.964</b>	<b>Daten z.T. in veränderter/neuer Struktur</b>

Die Daten aus Tabelle 3.3.1 wurden in Form von ca. 1300 Einzelmaßnahmen mit den jeweilig zugehörigen Prozessdatensätzen allen Teilprojekten zum Download und zur weiteren Nutzung auf der Intranet-Datenplattform des Projekts zur Verfügung gestellt.

Die ermittelten Prozessdaten wurden zwei Auswertungslinien zugeführt:

**Zugwiderstandsermittlung beim Grubbereinsatz:** Unter der Hypothese, dass eine Korrelation zwischen Ertrag und Bodenwiderstand bestehen müsste, wurden die Prozessdaten für den Grubbereinsatz in „Bodenwiderstandskarten“ aufbereitet und allen anderen Teilprojekten zur Verfügung gestellt (Abb. 3.3.7).

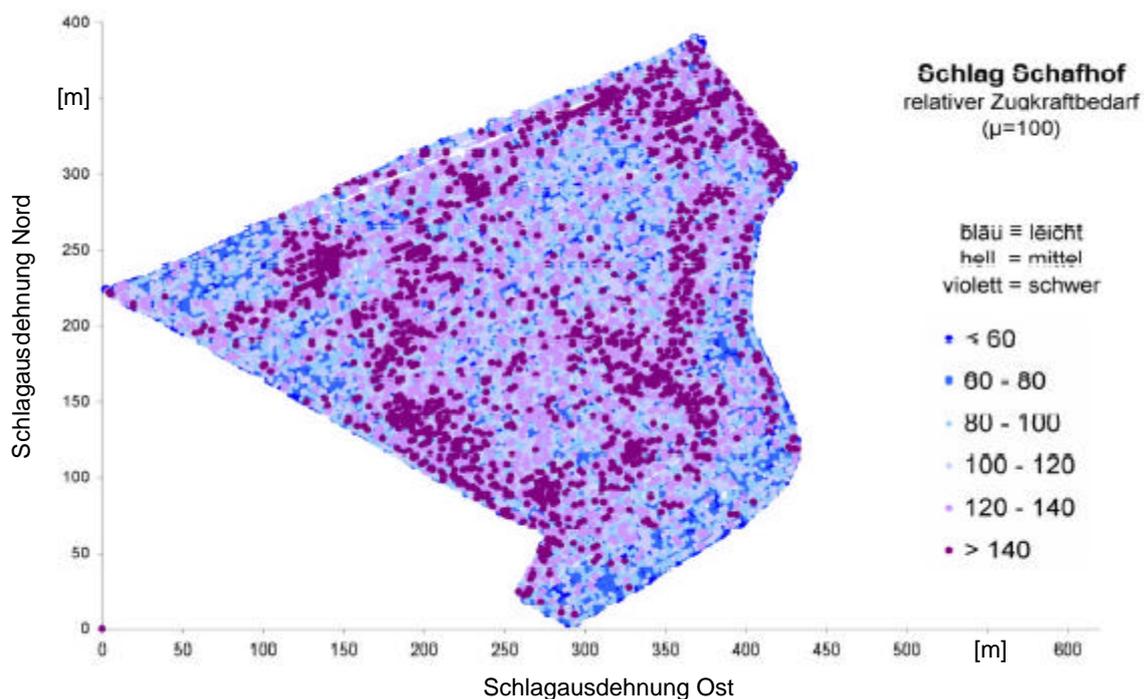


Abbildung 3.3.7: Zugwiderstandskarte Schaffhof 2000 (14.08.2000; Grubbern mit FENDT-Vario 714 und LEMKEN Smaragd 9/300; AB = 3 m; AT = 11 cm)

Um zunächst keinen Informationsverlust hinnehmen zu müssen, wurden dabei keine geostatistischen Interpolationsmethoden, sondern eine Darstellung der Punktinformation gewählt. Die weitere Nutzung und Verarbeitung der Informationen oblag anderen Teilprojekten und dabei insbesondere TP 12 „Ableitung von Entscheidungsregeln“.

Zusätzlich wurde beispielhaft eine Untersuchung zur möglichen Ableitung von Bodenschichtungsinformation auf Grundlage der Zugkraftdaten und von EM 38-Messungen durchgeführt [7].

**Verfahrensdokumentation:** In einem zweiten Ansatz wurden alle Prozessdaten einer standardisierten Verfahrensanalyse unterzogen und nach den Bereichen Prozesstechnik, Zeit und Weg auf dem Feld, Arbeitsgeschwindigkeit und Zapfwelldrehzahl bei der Arbeit,

bearbeitete Fläche und applizierte Menge nach jeweils üblichen oder neu definierten Parametern ausgewertet (Tab. 3.3.2).

Weiterführend wurde danach eine Web-gestützte Datenhaltung und Datenanalyse entwickelt und für die Versuchstation Dürnast umgesetzt [8]. Diese ermöglicht:

- Eine dezentralisierte Datenhaltung auf einem oder mehreren beliebigen Web-Servern,
- die Datenanalyse und das Herunterladen von Daten von einem beliebigen PC mit Internetzugang und Webbrowser,
- die Analyse von Informationen zum Gesamtbetrieb über Betriebsteile oder Einzelschläge bis hin zu einzelnen Maßnahmen oder Maschinen in frei wählbaren Zeitspannen und die grafische Darstellung der genannten Informationen,
- ein effizientes Datenmanagement und Datensicherheit ohne die Pflege lokaler Softwaresysteme,
- die vielfältige Nutzung der gewonnenen Information für inner-, über- und außerbetriebliche Anwendungen (z.B. internes Management, Abrechnungssysteme für überbetrieblichen Maschineneinsatz, Nachweis für Rohstoffabnehmer).

Tabelle 3.3.2: Maßnahmenanalyse aus der Automatischen Prozessdatenerfassung mit LBS, GPS, und IMI® zur variablen Stickstoffapplikation (Schlag TH01, 30.04.2001)

Datum	Startzeit	Stopzeit	Schlag	Traktor	Gerät	Maßnahme
30.04.2001	19:45 Uhr	20:30 Uhr	TH01	MB-trac	Exaktstreuer	Düngen
<b>Benötigte Zeit auf dem Feld</b>						
<i>Gesamt</i>	<i>Arbeit</i>	<i>Wenden</i>	<i>Stand</i>	<i>Zeit / Fläche</i>		
0.59 h	61 %	23 %	16 %	0.10 h/ha		
<b>Zurückgelegter Weg auf dem Feld</b>						
<i>Gesamt</i>	<i>Arbeit</i>	<i>Wenden</i>	<i>Weg / Fläche</i>			
4.11 km	81 %	19 %	0.71 km/ha			
<b>Arbeitsgeschwindigkeit</b>			<b>Zapfwelldrehzahl bei der Arbeit</b>			
<i>Mittel</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Mittel</i>	<i>Standardabweichung</i>			
9.26 km/h	2.27 km/h	450 U/min	61 U/min			
<b>Bearbeitete Fläche</b>			<b>Applizierte Menge</b>			
<i>Summe</i>			<i>Summe</i>	<i>Mittel</i>	<i>Stand.abw.</i>	
4.75 ha			915.6 kg	203.4 kg/ha	34.9 kg/ha	

### 3.3.2.3 Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen

Mit den durchgeführten Arbeiten konnten alle Zielsetzungen erreicht und sogar übertroffen werden.

Die Prüfstanduntersuchungen der verfügbaren Sensoren für die Ertragsermittlung in Mähdreschern deckten Schwächen der bestehenden Systeme auf und erbrachten erstmals belastbare Aussagen im Hinblick auf Genauigkeit, Messrauschen und Messverhalten unter

simulierten, praxisnahen Durchsatzbedingungen. Sie führten bei den beteiligten Firmen zu Verbesserungen an den Produkten. In Zusammenarbeit mit der ASABE konnten wesentliche Beiträge zur Entwicklung eines Teststandards für Ertragsermittlungssensoren in Mähdreschern erbracht werden [5, 6].

Der erarbeitete Ansatz einer automatischen Prozessdatenermittlung war der allgemeinen weltweiten Entwicklung um etwa drei Jahre voraus. Er wird als richtungsweisend für das heute intensiv diskutierte „Traceability“ angesehen und in ersten Vorserienprodukten bei bedeutenden Landmaschinenherstellern umgesetzt.

Die entwickelte Prozessdatenanalyse konnte in das Forschungsvorhaben „pre agro“ (1. Phase, 1999 bis 2002) übertragen und weiter entwickelt werden. Dort wurde sie zur Basistechnologie für die Gewannebewirtschaftung und wurde von den beteiligten Landwirten ohne Widerspruch für die internen Abrechnungen akzeptiert [9].

Die im IKB-Projekt begonnenen Arbeiten zur automatisierten Prozessdatenerfassung werden derzeit als Teilprojekt („Integration automatischer Prozessdatenerfassung in Informationsflüsse) im Forschungsverbund pre agro (2. Phase, 2005 bis 2007) fortgeführt und erweitert. Dabei sollen die bereits erarbeiteten Grundlagen Web-basierter Informationsverarbeitung genutzt und auf der Basis eines Datenerfassungssystems nach ISO 11783 (ISOBUS) und unter Nutzung von Standards zur Weitergabe von Geodaten (OGC-Standards) zu einem Automatischen Prozessdatenservice (APDS) als Webservice ausgebaut werden [10]. Dazu findet parallel und ebenfalls unter Mitarbeit des genannten pre agro-Teilprojekts die Standardisierung eines Datenaustauschformats für die Landwirtschaft (agroXML) statt [11].

Weitere erforderliche Folgeuntersuchungen sind unerlässlich. So bedarf es der Integration einer sicheren und weitgehend automatisierten Fahreridentifizierung in die automatische Prozessdatenerfassung. Ebenso ist eine telemetrische Datenübertragung unerlässlich, wobei großes Augenmerk auf das „Wireless LAN“ zu legen wäre. Schließlich müssen Erfassungsmöglichkeiten für rein manuelle Tätigkeiten über den PDA integriert und das Datenformat einer internationalen Standardisierung zugeführt werden. Darüber hinaus ist die Erfassung der eingesetzten Betriebsmittel (Barcode, RFID) und der Inhaltsstoffe in Boden und Pflanzen unerlässlich.

Wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Projektbereich:

- Dipl. Geogr. T. Steinmayr (TP 1)
- Dipl. Inform. A. Spangler (TP 2)
- Dr. M. Demmel (Grundausrüstung)
- Dipl.-Ing. agr. H. Linseisen (TP 6)
- Dipl.-Ing. agr. C. Augsburg (TP 7)
- Dipl.-Ing. agr. M. Rothmund (Grundausrüstung)

### 3.3.3 Ertragskartierung

Im Precision Farming kommt der Ertragsermittlung und der daraus abgeleiteten Ertragskartierung eine zentrale Bedeutung zu. So stellt die Ertragskartierung im bisher weltweit verfolgten „Mapping-Ansatz“ neben der Bodenanalyse die wichtigste Eingangsgröße

dar. Im „Realtime-Ansatz mit Kartenüberlagerung“ des durchgeführten Forschungsprojektes übernimmt sie sogar eine Doppelfunktion: Zum einen dient sie der Ableitung des Ertragspotentials und damit als Zielgröße für die Online-Steuerung. Zum anderen liefert sie aus langjährigen Erfassungsreihen die lokalen Begrenzungswerte im Hinblick auf maximal erzielbare lokale Erträge.

Aufgrund dieser Bedeutung sind die weltweiten Forschungsansätze äußerst vielgestaltig und den regionalen Bedingungen entsprechend ausgerichtet. Zu Beginn des Forschungsvorhabens standen sich mehrere erkennbare Zielrichtungen gegenüber:

- Test und Entwicklung von geeigneten Sensoren zur Ertragsermittlung für die unterschiedlichsten Erntegüter [12]
- Verhalten verfügbarer Sensoren in der Befüll- und Entleerzeit unter realen Bedingungen am Feldanfang und am Feldende [13]
- Ermittlung des Messversatzes (time lag) zwischen Ernteposition und Messposition [14]
- Entwicklung und Test von Filterverfahren zum Ausschluss von offensichtlich falschen Messwerten [15]
- Entwicklung von Korrekturverfahren für fehlende Messwerte [16]
- Untersuchungen zu Rastergrößen und Rasterabständen bei der Kartierung

Für alle diese Ansätze wurden vielfältige Ergebnisse ermittelt, ohne zu einem verallgemeinerungsfähigen Ansatz zu kommen. Deshalb sollten in der eigenen Zielsetzung bestehende Wissenslücken im Hinblick auf die systeminternen Fehler der Ertragsmess- und der Ortungsgenauigkeit geschlossen werden. Zudem sollte versucht werden, einen an die realen Ernteabläufe angepassten Kartierungsalgorithmus für anisotrope Merkmalsausprägungen zu erstellen und zu testen.

#### 3.3.3.1 Ertragsmessfehler

Diese Aufgabe wurde innerhalb der automatischen Prozessdatenerfassung bearbeitet (siehe 3.3.2.1). Gegenüber bisherigen Untersuchungen wurde dabei der Weg des Prüfstandes mit kontrollierbaren Rahmenbedingungen gewählt. Die Untersuchungen wurden auf verfügbare Sensoren beschränkt. Gezielt wurden unterschiedliche Getreidearten in die Untersuchungen einbezogen und damit Neuland beschritten. Die gewonnenen Ergebnisse verdeutlichen, dass im Hinblick auf die sensorinterne Messwertverarbeitung und die verwendeten Kalibrierungsroutinen noch erheblicher Handlungsbedarf besteht.

#### 3.3.3.2 Positionierungsmessfehler

Bei der GPS-Ortung muss im landwirtschaftlichen Einsatz durch vielerlei Gründe mit mehr oder weniger großen Fehlern gerechnet werden. Da im Sinne von preiswerten Ortungssystemen auf hochgenaue und teure Systeme verzichtet werden muss, sind Maßnahmen zur Detektierung und Eliminierung von offensichtlichen Ortungsfehlern im „Post Processing“ sehr wichtig. Der hierfür entwickelte Algorithmus greift dazu auf mögliche Fahrzeugbewegungen in der Fläche in Abhängigkeit zur mittleren Fahrgeschwindigkeit

zurück. Danach werden als fehlerhaft ermittelte Positionen gegenüber den Nachbarpositionen gelöscht und über eine Interpolation mit den Nachbarwerten ersetzt (Abb. 3.3.8).

Die Korrekturen erwiesen sich als sehr effektiv. Allerdings unterscheiden sich die Fahrspurdaten der jeweiligen Ertragsmesssysteme, da diese intern schon eine gewisse Fehlerbereinigung durchführen, weshalb von einem allgemeinen Korrekturstandard zugunsten „messsystemspezifischer Algorithmen“ abgesehen wurde.

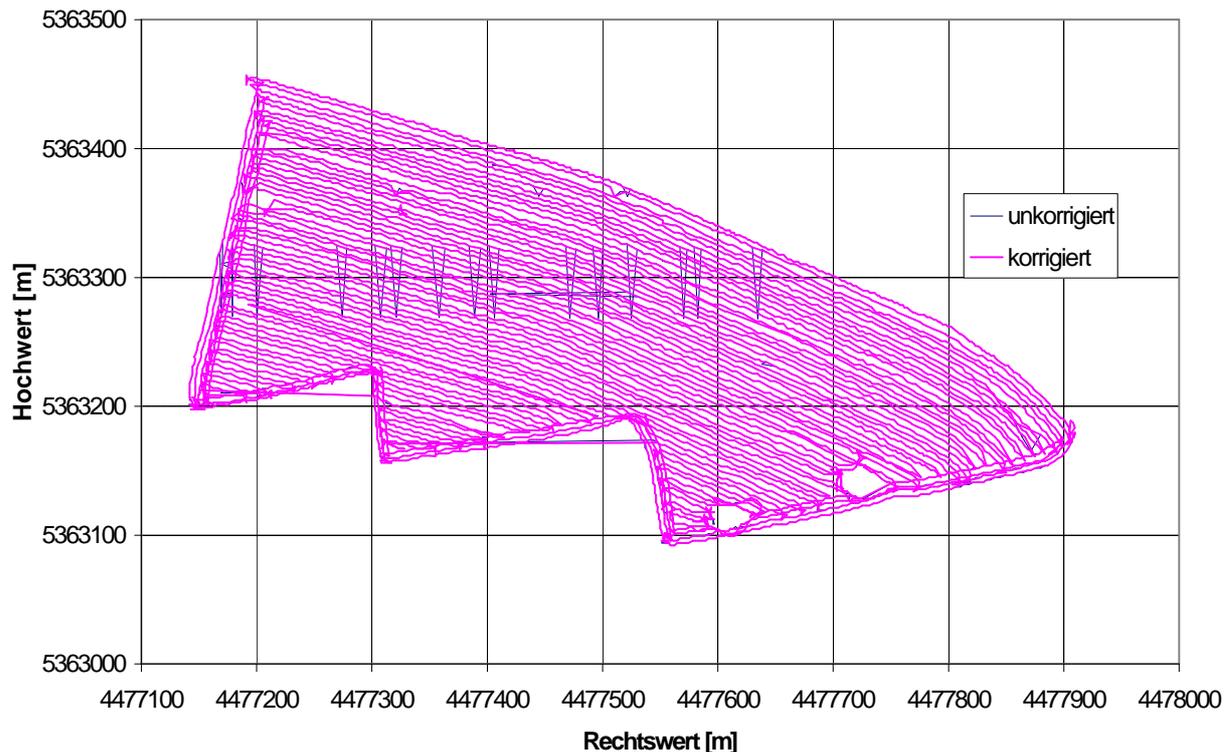


Abbildung 3.3.8: Unkorrigierte und korrigierte DGPS-Fahrspuren (D01; 1999; Flowcontrol)

### 3.3.3.3 Messdatenanalyse und Korrekturalgorithmus

Für eine objektive Vergleichbarkeit von Ertragskartierungen wurden neben den in Dürnast verfügbaren Ertragsdaten auch alle im FAM auf der Versuchsstation Scheyern [17] verfügbaren langjährigen Ertragsdaten in einem Datenbanksystem aufbereitet. Mit Hilfe von Perl-Skripten wurden Maschinenbefüll- und Maschinenentleerzeiten untersucht, Schnittbreiten analysiert und Rastergrößenanalysen durchgeführt. Die ermittelten Ergebnisse dienen der Ableitung eines Kartierungsalgorithmus, welcher in drei aufeinanderfolgenden Segmenten eine Vielzahl von Einzelschritten enthält:

#### 1. **Datenvorbereitung**

- Datenformate mit darin enthaltenen Attributen sichten,
- Definition der Bedingungen für die Gültigkeit eines Datenstrings.

#### 2. **Datenbereinigung** über den relativen mittleren Ertrag des Schlages mit

- Messwert-shifting,

- löschen außerhalb zulässiger Grenzen liegender Ertragsmesswerte (z.B. <20 und >180%),
- löschen außerhalb möglicher Fahrstrecken liegender Ertragswerte bzw. Zuordnung zu einem interpolierten Streckenmittelwert,
- löschen der ersten und letzten Fahrspursegmentwerte (sensorspezifisch zwischen 3 und 20 Werte),
- löschen aller >90° fahrspurversetzten Ertragswerte (Entleerzeiten),
- löschen aller Ertragswerte außerhalb zulässiger Beschleunigungen zwischen einzelnen Messpunkten,
- löschen aller benachbarten Ertragsdaten mit Abweichungen vom relativen Schlagmittel außerhalb der 95%-Quantile,
- Ersatz fehlender Nachbarwerte durch lineare Interpolation.

**3. Ableitung des Kartierungsalgorithmus** nach Ertragsklassen im Hinblick auf technisch mögliche und ökonomisch sinnvolle Applikationsdifferenzierungen **mit Erstellung der Ertragskartierung** in Raster- oder Konturgrafik unter Zuhilfenahme geostatistischer Softwarewerkzeuge.

Mit diesem Algorithmus konnten bisherige Kartierungsansätze wesentlich verbessert werden. Allerdings berücksichtigt auch dieser Ansatz die anisotrope Ausprägung der Ertragsmerkmale nicht oder nur unzureichend. Deshalb wurde in einem zusätzlichen Ansatz eine Methode entwickelt, welche entlang der Fahrspuren eine Anpassung in Form eines Schmetterlings realisiert.

#### 3.3.3.4 Paraboloides Butterfly Fitting

Die Methode beruht auf dem Angleichen von Ertragsstrukturen durch Paraboloiden. Der Ertrag zu jedem Punkt (x,y) einer Ertragskarte entsteht darin als der gefittete Wert einer zweidimensional-quadratischen Regression der Messdaten  $z_i$  auf den Gauß-Krüger Koordinaten  $(x_i, y_i)$  einer Umgebung. Das Modell dieser Regression ist durch

$$z_i = \beta_1 + \beta_2 x_i + \beta_3 y_i + \beta_4 x_i^2 + \beta_5 y_i^2 + \beta_6 x_i y_i + e_i \quad (1)$$

gegeben, wobei die  $e_i$  unabhängige Fehlervariablen der Messdaten darstellen. Abbildung 3.3.9 zeigt zwei Beispiele, wie solche parabolische Strukturen aussehen können.

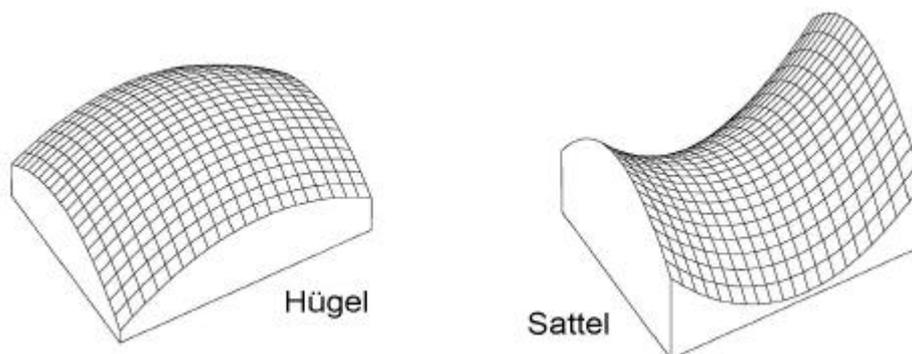


Abbildung 3.3.9: Beispiele für Paraboloiden gemäß Modell (1)

Um nun die beste Form der Umgebung zu finden wurde in einem ersten Ansatz nach vorangehender Datenfilterung (Methode siehe 3.3.3.3) mittels ordinärem Kriging in einem Beispiel eine Ertragskartierung durchgeführt. Es zeigte sich, dass dabei Kriging zu wenig quer zu den Fahrspuren glättet, während die Glättung entlang der Fahrspuren eher zu stark erscheint. Fahrspuren sind auch bei der Ertragskartierung noch deutlich sichtbar (Kriging-Methoden unterscheiden nämlich nicht hinsichtlich der Richtung der Fahrspuren, obwohl Messdaten benachbarter Fahrspuren im Gegensatz zu Messdaten derselben Fahrspur unabhängig sind). Deswegen erschien es dringend erforderlich, die Auswahlregion quer zu den Fahrspuren breiter zu wählen als entlang derselben.

Butterfly Fitting: Aus diesem Grund war zunächst eine Ellipse als Umgebung zum Fitten des Paraboloiden angedacht. Diese Ellipse sollte in rechtem Winkel zu den Fahrspuren stehen. Da aber selbst der Sinus von  $70^\circ$  mit einem Wert von 0.94 noch nahezu 1 ist (entspricht dem Sinus von  $90^\circ$ ), wäre es nicht gerechtfertigt, zu sehr am rechten Winkel zu festzuhalten. Kleine Abweichungen vom rechten Winkel haben nahezu die gleiche Berechtigung, als Auswahlregion dienen zu dürfen. Das in Abbildung 3.3.10 veranschaulichte Resultat dieser rein theoretischen Überlegungen lief deshalb auf eine „Schmetterlingsumgebung“ hinaus.

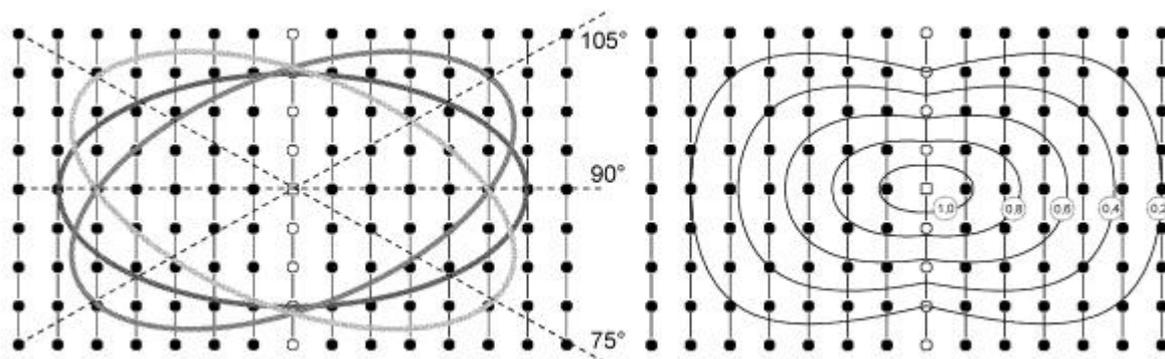


Abbildung 3.3.10: Iso-Gewichtungslinien; links: elliptische Auswahl in verschiedenen Winkeln zu den Fahrspuren, rechts: Linien gleicher Gewichtung zur resultierenden Schmetterlingsauswahl (Iso-Gewichtungslinien)

Es würde nämlich von wenig statistischem Feingefühl zeugen, einem Messwert, der gerade noch zum Schmetterling gehört, noch das volle Gewicht 1 zuzuordnen, während ein Messwert knapp außerhalb überhaupt nicht berücksichtigt würde. In der nun verwendeten Auswahl hat hingegen nur der Messwert selbst volles Gewicht 1. Ansonsten nehmen die Gewichte linear in der „Schmetterlingsmetrik“ ab.

M-Schätzer: Yield-Monitor-Ertragsdaten unterliegen vielfältigen Fehlerquellen, weswegen einem Kartierungsalgorithmus gewöhnlich Filterungstechniken vorausgehen (siehe 3.3.3.3). Wiederum lassen auch dabei alle bisherigen Filterungsalgorithmen rein statistisch wenig Feingefühl erkennen, wenn sie Daten, deren Abweichung ein gewisses Höchstmaß überschreitet, ausfiltern. Damit erhält nämlich z.B. ein Datum mit 2,000 Standardabweichungen den maximal möglichen Einfluss, während ein Datum mit 2,001 Standardabweichungen zu groß ist und plötzlich überhaupt keinen Einfluss mehr hat. Um

diese „statistische Ungerechtigkeit“ zu beseitigen, wurde ein robuster, wiederabsteigender M-Schätzer integriert.

Im einfachsten Fall schätzt ein M-Schätzer nur den Lokationsparameter von Daten. Abbildung 3.3.11 zeigt eine um 0 symmetrische wiederabsteigende  $\psi$ -Funktion. Diese  $\psi$ -Funktion muss nun solange horizontal verschoben werden, bis die Summe der  $\psi$ -Werte der Daten gleich 0 wird. Dann ist ihr Schnitt mit der  $x$ -Achse der M-Schätzer. Auf diese Weise wird das Gewicht von Ausreißern entsprechend ihrer Größe fließend abgewertet. Das illustrierte M-Schätzer-Prinzip wurde im Ertragskartierungsprogramm auf die Schätzung der Regressionskoeffizienten des Paraboloiden (und auch für die Skalenschätzung) erweitert.

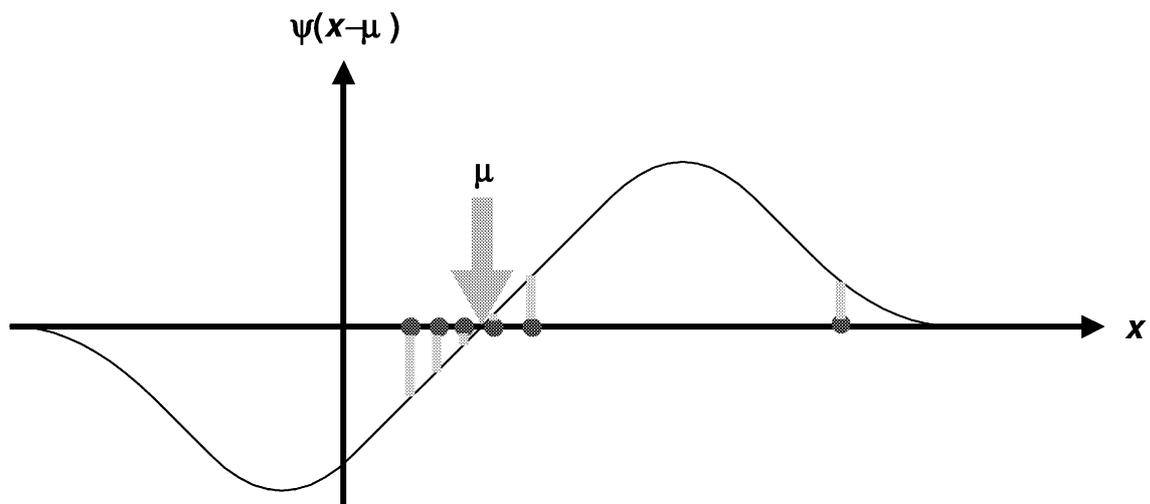


Abbildung 3.3.11: M-Schätzer für einen Lokationsparameter

Es versteht sich fast von selbst, dass die M-Schätzung der Regressionskoeffizienten des Paraboloiden wieder gewichtet ist. Das Gewicht eines Umgebungspunktes ist umso kleiner, je größer sein Abstand entsprechend den Schmetterlings-Isolinien ist (lokale Gewichtung). Allerdings können sich die Gewichte auch global verringern. Gründe dafür sind z.B. Messpunkte an beginnenden Fahrspuren (start-path delay), GPS-Punkte mit zu geringem Abstand zur vorausgehenden Fahrspur (Schnittbreite nicht vollständig ausgenutzt), Ertragsdaten mit zu hohem Feuchtwert usw.. Die gewichtete Regression zwingt dabei jedoch nicht zur Entscheidung, ob solche Werte aussortiert werden müssen; sie sollten nur entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeit für die Korrektheit geringeres Gewicht erhalten.

Geeignete Glättung der Ertragskarte: Nach dem gewählten Ansatz wird eine Ertragskarte um so glatter (smoother), je größer die Schmetterlingsumgebung ist, aufgrund deren der Paraboloid zur Gewinnung jedes einzelnen kartierten Ertragswertes gefittet ist. Detaillierte Ertragsunterschiede gehen dadurch verloren. Umgekehrt enthält eine zu detailgetreue Karte auch alle Unterschiede, die nur auf der Ungenauigkeit des Ertragsermittlungssystems beruhen. Die vorzugsweise herangezogenen Validierungsverfahren zur Beurteilung der Güte

einer Karte sind dabei jedoch weniger geeignet, denn die Messdaten, die theoretisch validiert werden könnten, sind stark fehlerbehaftet.

Sinnvoller ist es deshalb, die Varianz der wahren Erträge als Kriterium heranzuziehen. Ihre Varianz sollte z.B. der Varianz der Ertragskarte entsprechen oder sogar um die Varianz der Schätzfehler kleiner sein, da es nicht zu vermeiden ist, dass diese die Kartierungsvarianz ungewollt erhöht. Allerdings ist die Varianz der wahren Erträge unbekannt. Eine Möglichkeit besteht jedoch darin, sie unabhängig vom Kartierungsalgorithmus durch ein Variogramm zu schätzen. Dabei erbringt die Varianz der gemessenen Erträge abzüglich dem Nugget des Variogramms die Varianz der unbekannt wahren Erträge, die als Kriterium für die geeignete Glättung der Ertragskarte dienen könnte. Auftretende Messfehler sind dabei unbedeutend, weil sie die Gesamtvarianz und den Nugget gleichermaßen erhöhen und somit die Schätzung der wahren Varianz nicht beeinflussen sollten.

Allerdings zeigen Variogramme, dass Ausreißer aufgrund von Messfehlern die Struktur des Variogramms derart verzerren können, dass dieses nicht einmal mehr monoton steigend zu sein braucht. Auf diese Weise kann die Nuggetschätzung mittels Extrapolation der Variogrammkurve zu fatalen Ergebnissen führen. Eine für viele selbstverständlich erscheinende und dringend empfohlene Ausreißerkorrektur vor Erstellung des Variogramms führt – was völlig unbekannt zu sein scheint – allerdings dazu, dass die Schätzung der wahren Ertragsvarianz zu klein ausfällt, wie umfangreiche Monte-Carlo-Analysen gezeigt haben.

Eine dritte Möglichkeit hat sich trotz ihrer Bedenken als die beste herausgestellt: Es wird mit Hilfe von M-Schätzern ein robustes Variogramm anstatt eines klassischen Variogramms erstellt. Hier taucht allerdings das Problem auf, dass die verwendete Varianzzerlegungsformel nur für die klassische Varianz gilt, nicht aber für robuste Skalenschätzungen. Eine geeignete Problembehandlung wird derzeit erarbeitet (siehe geplante Publikationen, lfn. 1).

Versuchsbasierte Optimierung des Schmetterlings: Mit Hilfe des genannten Varianzkriteriums kann aber allenfalls die geeignete Größe des Schmetterlings, nicht aber dessen optimale Form ermitteln. Auch lässt sich dadurch nicht erkennen, ob das Meßsystem insgesamt zu stark oder zu wenig geglättet hat. Deshalb wurde 2004 ein Versuch auf dem „Lamprechtsfeld“ in Thalhausen durchgeführt, der sowohl Yield-Monitorertragsdaten eines Großmähdreschers als auch exakte Parzellenmähdrescherdaten für gleiche Fahrspuren lieferte. Dabei wurde die Fahrspur des 2 m breiten Parzellenmähdreschers vom Großmähdrescher mit einer Schnittbreite von 4,50 m überfahren und somit ein zweites Mal geerntet (Abb. 3.3.12).



Abbildung 3.3.12: Parzellen- und Großmähdrescher in identischer Fahrspur

Zum Vergleich wurden die Trockenmasseerträge errechnet und auf den Durchschnitt der gemessenen Erträge bezogen, also Relativerträge miteinander verglichen. Als zu minimierendes Kriterium wurde das mittlere Abweichungsquadrat der Relativerträge jedes einzelnen Ertragsermittlungssystems von den Relativerträgen des Parzellenmähdreschers herangezogen. Die gewonnenen Ergebnisse lassen sie sich wie folgt zusammenfassen:

- Die optimalen Auswahlregionen quer zu den Fahrspuren sind sehr groß. Sie reichen bis zum 12- bis 15-fachen der Schnittbreite und umfassen damit nahezu das gesamte Versuchsfeld mit 7 ha. Dadurch wird die Aussagekraft der Ergebnisse sehr stark abgeschwächt, obgleich die Messdaten zwischen Schmetterlingsmitte und Schmetterlingsrand nur noch halb gewichtet wurden.
- Zudem ergab sich ein starker Unterschied in der Form des optimierten Schmetterlings zwischen den beiden Meßsystemen: Während der resultierende Schmetterling beim Messsystem „Ag-Leader“ fast wie ein Kreis aussieht hat der Schmetterling beim Messsystem „Flowcontrol“ einen im Vergleich zu seiner Flügelspannweite nur sehr kurzen Kopf (Abb. 3.3.13).

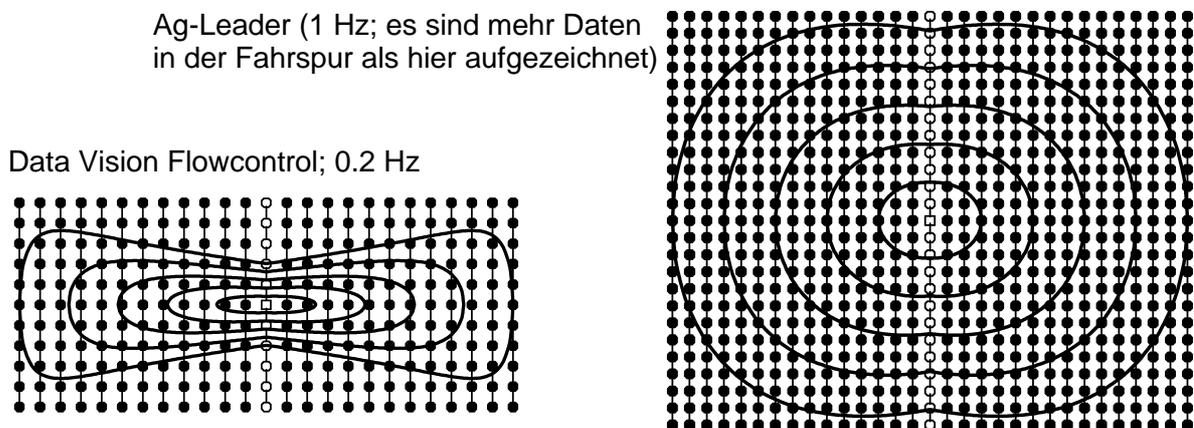


Abbildung 3.3.13 Optimierte Schmetterlingsauswahl nach dem Versuchsergebnis „Lambrechtsfeld“

Dass das System Data Vision Flowcontrol keiner so starken Glättung entlang der Fahrspuren mehr bedarf, mag vor allem daran liegen, dass es in sich schon einen sehr starken Glättungsalgorithmus enthält (siehe Abb. 3.3.4). Dadurch fließen schon sehr viele Daten derselben Fahrspur in den Ertragsermittlungsalgorithmus ein.

Nach Optimierung der Auswahlregion betrug der Variationskoeffizient hinsichtlich der Abweichung von den wahren Parzellenwerten bei DV Flowcontrol etwa 21 %, während er bei AgLeader etwa 19 % betrug. Insbesondere fiel auf, dass die optimierten Ertragskarten nur etwa 40 % der Varianz der Ertragskarte der Parzellenmähdrescherdaten aufweisen. Dies wiederum bedeutet, dass beide Ertragsermittlungssysteme viel zu stark glätten. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Großmähdrescher beim Lamprechtsfeldversuch nur etwa 55 % des normalen Ertragsniveaus erntete und dadurch erheblich von der Kalibrierung abwich (siehe Abb. 3.3.3).

Kartierungsprogramm: Diese stark vereinfacht dargestellte Prozedur zur Ertragskartierung ist in einem Fortran-Programm implementiert. Es enthält sehr viele Parameter, die vom Benutzer definiert werden können. Die Verwendung wiederabsteigender M-Schätzer ermöglicht es, dass Datenfilterung, -korrektur und Ertragskartierung in einem einzigen Schritt abgewickelt werden können (one-step yield mapping). Der Benutzer hat aber auch die Möglichkeit, sich die Daten nur korrigieren zu lassen, um danach die Kartierung mittels Kriging zu vollenden.

Der Korrekturalgorithmus vergleicht jeden Messwert mit einer parabolischen Struktur seiner Umgebung und ändert ihn gegebenenfalls. Es gibt aber auch die Möglichkeit, die Ertragskartierung an bereits korrigierten Daten vorzunehmen. So kann das Programm als Weiterverarbeitung anderer Korrekturalgorithmen verwendet werden, wie z.B. der H-Methode nach NOACK [18].

Eine weitere Alternative besteht darin, die Ertragsdaten mit dem entwickelten Programm zunächst zu korrigieren und dann erst in einem zweiten Schritt mit demselben Programm den Kartierungsalgorithmus vorzunehmen. Auf diese Weise entsteht die Ertragskarte in zwei Schritten (two-step yield mapping), wobei nach dem ersten Schritt zusätzliche statistische Analysen für „methodische Vergleiche“ durchgeführt werden können. Zudem ist diese Form direkt zu allen bisherigen Methoden der Ertragskartierung vergleichbar, denn auch diese beruhen auf Mehrschrittverfahren.

### 3.3.3.5 Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen

Die durchgeführten Arbeiten sind zum einen Fortsetzungen und Ergänzungen bestehender Forschungsansätze. Zum anderen stellen sie einen völlig neuen und an die Bedingungen der Ertragsermittlung sehr viel stärker angepassten Ansatz dar.

Im Hinblick auf zu Forschungsbeginn bestehende Methoden und Ergebnisse wurde mit dem Prüfstand für Ertragssensoren in Mähdreschern ein neuer Weg beschritten. Erstmals

können damit unter „ceteris paribus Bedingungen“ wirklich vergleich- und reproduzierbare Ergebnisse gewonnen werden. Bei gleichem Durchsatz konnte so die Messgenauigkeit und die Messcharakteristik der Sensoren ermittelt werden. Durch Nachbildung der realen Verhältnisse (unterschiedliche Erträge, Hangneigungen) ergaben sich vielfältige neue Aussagen. Auch wurden erstmals alle wichtigen Getreidearten mit gleichen Sensoren untersucht und Körnermais in die Analysen einbezogen. Schließlich gelang auch ein erster Ansatz im Hinblick auf standardisierte Prüfalgorithmen, welche in Zusammenarbeit mit der entsprechenden Arbeitsgruppe in ASABE zu einem Standard führte. Abschließend wurden bestehende und neue Schritte bei der Datenverarbeitung in ein Gesamtsystem zusammengeführt und damit eine wesentliche Verbesserung im Hinblick auf die Ertragskartierung erzielt.

Neu und erfolgsversprechend ist dagegen der entwickelte Kartierungsalgorithmus mit dem „Paraboloidem Schmetterlings Fitting“. Dieser Ansatz versucht gegenüber dem rein theoretisch begründeten „Kriging-Ansatz“ die Ertragsausbildung eines natürlichen Bestandes zu berücksichtigen und die Messcharakteristik des Sensors einzubeziehen. Damit könnten erstmals aus Messdaten unterschiedlicher Bestände und unterschiedlicher Sensoren wirklich vergleichbare Ertragskartierungen erstellt werden.

Deshalb sind weitere Forschungsvorhaben unumgänglich: So müsste der Versuch zur Ermittlung der Varianz in einem natürlichen Bestand, der „Lamprechtsfeldversuch“, wiederholt und bei gleicher Schnittbreite des Parzellenmähdreschers ein Großmähdrescher mit 8 m Schnittbreite eingesetzt werden. Zudem müsste im Großmähdrescher der Ertragsmesssensor auf ? weniger Durchsatz kalibriert werden um wirklich vergleichbare Messwerte zu bekommen.

Weiterführend ist dann ein „Ertragskartierungsstandard“ unerlässlich. Dazu wurde ein erster Vorschlag für eine ISO-Norm erarbeitet und in die deutsche und die US-amerikanische Normungsarbeit eingebracht. Es bleibt zu hoffen, dass nach der erfolgten deutschen Ablehnung der Druck aus den USA so groß ist, dass dieses Vorhaben schnell in Angriff genommen und zügig abgeschlossen werden kann.

Wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Projektbereich:

Dipl. Geogr. T. Steinmayr (TP 1)  
Dipl. Inform. A. Spangler (TP 2)  
Dr. M. Demmel (Grundausstattung)  
Dr. Dr. habil. M. Bachmaier (TP 8)  
Dipl.-Ing. R. Ostermeier (TP 8)

### 3.3.4 ISOBUS-konforme Real-time Applikation mit Kartenüberlagerung

In diesem Arbeitsbereich wurde als technischer Abschluss der Arbeiten in der Forschergruppe IKB-Dürnast der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung für intensive Stickstoffdüngung ausführlich untersucht und als Simulation in eine Laborumgebung implementiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Ableitung eines *theroretischen*

*Frameworks* für das Zusammenführen (Fusionieren) von Daten aus unterschiedlichen Quellen und Sensoren im mobilen Einsatz unter Echtzeitbedingungen, um für die effiziente und zielorientierte Implementierung einen durchgängigen Spezifikations- und Entwicklungsprozess zu gewährleisten. Zielgerichtet wurde auf verteilte elektronische Systeme zurückgegriffen, wie sie künftig in standardisierten Landwirtschaftlichen BUS-Systemen (ISO 11783, DIN 9684) verfügbar sein werden, um deren Nutzung durch ein breiteres Leistungsspektrum zu fördern und zu unterstützen.

#### 3.3.4.1 Methode und Material

Ein durchgängiges theoretisches Framework soll grundsätzlich unterschiedliche Abstraktionsebenen besitzen und eine Top-Down-Dekomposition der Anforderungen, sowie einen anschließenden strukturierten Systementwurf erlauben [19]. Darin muss das **funktionale Modell** auf der höchsten Abstraktionsebene beschreiben und festlegen, welche Analysefunktionalität oder -prozesse durchgeführt werden müssen. Hingegen beschreibt ein **prozedurales bzw. Prozess-Modell** auf hoher Abstraktionsebene, wie diese Analysen oder Prozeduren geleistet werden können. Auf der Basis dieser abstrakten Sichtweise von Anforderungen, Spezifikationen und Problemlösungs-Paradigma bzw. -Paradigmen muss danach eine Systemarchitektur (Abstraktion der Hard- und Software-Implementierung) entworfen und bei der weiteren Transformation in eine konkrete technische Realisierung in Hard- und Software umgesetzt werden, wobei etablierte und geeignete Systemtechnik-Methoden Anwendung finden müssen.

Die Implementierung der Simulation erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt 12 „Ableitung von Entscheidungsregeln für die teilflächenspezifische Bestandesführung“. Es erarbeitete den pflanzenbaulichen Teil des benötigten Expertenwissens und es lieferte die notwendigen Testdaten für die Simulation ((Überlagerungs)kartenmaterial Versuchsfeld D4 und Online-Messungen aus 2003). Im Speziellen wurden folgende Online-Sensorik-Prozessdaten und (Überlagerungs)karten verwendet:

- REIP-Messwert zur 2. N-Gabe
- Ertrag des Jahres 1998
- EM38-Messwert
- Zugkraft-Messwert
- Düngermenge der 1. N-Gabe

#### 3.3.4.2 Ergebnisse

Prinzipiell ist die Aufgabenstellung ein Thema der Steuerungs- und Regelungstechnik. Es ist notwendig einen Prozess oder ein System, hier Pflanzen und ihre nähere Umgebung, zu einem ökologischen und ökonomischen Optimum zu führen. Dies erfordert Information über den aktuellen Zustand des Prozesses und seinen Input in Form von Stellgrößen (maps) und aktuellen Istgrößen (Online-Sensorik). Die Möglichkeit zur Beeinflussung des Prozesses ist die Düngung. Dabei wird der Applikationssollwert anhand von Expertenwissen und der vorliegenden Information über die Prozess-Eingangsgroßen abgeleitet. Für die aktuelle

Situation wird dazu jede einzelne Teilfläche untersucht, bewertet, und dafür ein Applikationssollwert (= Aktion) ermittelt. Eine Dokumentation vervollständigt das Verfahren.

Konventionelle Methoden der Steuerungs- und Regelungstechnik verlangen, dass die Eingangsinformationen einem gemeinsamen Merkmalsraum entstammen und in numerischer Form vorliegen. Bei der vorliegenden Aufgabenstellung sind diese Eingangsvoraussetzungen nicht gegeben, daher ist eine Form von „intelligenter Steuerung“ zu implementieren. Eine Lösung findet sich in der Anwendung des (**Multisensor**) **Data Fusion** mit entsprechenden Methoden und angepasster Terminologie [19]. Falls wenigstens ein Teil der Daten von Sensoren stammt, wird auch von *Multisensor Data Fusion gesprochen*.

Unabhängig von der Abstraktionsebene des theoretischen Frameworks können drei Alternativen für Data Fusion und zwei Typen von Datenquellen unterschieden werden [20]:

- (1) Direkte Fusion der Sensordaten
- (2) Representation der Sensordaten mittels eines Merkmals/Zustands-Vektors (*feature/state vector*) mit nachfolgender Fusion der Merkmals/Zustands-Vektoren
- (3) Verrechnung in jedem einzelnen Sensor, um auf höherer Ebene Ableitungen und Entscheidungen treffen zu können, die anschließend kombiniert bzw. fusioniert werden.

Es existiert ein ausgeprägter Unterschied zwischen gleichsinnigen (*commensurate*) Daten und nicht gleichsinnigen (*noncommensurate*) Multisensor Daten. Gleichsinnig sind Daten, wenn sie durch Sensoren bestimmt werden, die das gleiche physikalische Phänomen messen. Als Regel gilt: Falls (Multisensor) Daten gleichsinnig sind, dann können die Rohdaten direkt kombiniert werden. Im Gegensatz dazu sind nicht gleichsinnige Sensordaten nur auf Ebene der Merkmals/Zustands-Vektoren oder der Entscheidungsebene zu fusionieren.

Der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung ist geradezu typisch für einen Fall mit nicht gleichsinnigen Informationsquellen, daher ist eine Fusion auf Rohdatenebene nicht möglich, sondern es ist die Fusion auf Merkmals/Zustands- oder Entscheidungsebene erforderlich.

Ein dem Stand der Technik entsprechendes funktionales Modell für Data Fusion wurde von den Joint Directors of Laboratories (JDL) spezifiziert [21]. STEINBERG und BOWMAN [19] überarbeiteten 1998 das Modell mit dem Ziel, es aus dem rein militärischen Charakter herauszulösen und als „*Revised JDL data fusion model*“ der gesamten Data Fusion Fachgemeinschaft zuzuführen (Abb. 3.3.14).

Dieses Modell unterscheidet fünf Verarbeitungsebenen (*processing levels*) auf der Basis unterschiedlicher Bewertungs-Prozesse (*Assessment*), die in etwa mit dem Typus der Einheiten, für die ihr Zustand abzuschätzen ist, korrespondieren:

- **Level 0 Processing - Sub-Object Assessment:** Estimation and prediction of signal- or object observable states on the basis of pixel/signal level data association and characterization.
- **Level 1 Processing - Object Assessment:** Estimation and prediction of entity states on the basis of inferences from observations

- **Level 2 Processing - Situation Assessment:** Estimation and prediction of entity states on the basis of inferred relations among entities.
- **Level 3 Processing - Impact Assessment:** Estimation and prediction of effects on situations of planned or estimated/predicted actions by participants
- **Level 4 Processing - Process Refinement:** Adaptive data acquisition and processing to support mission objectives

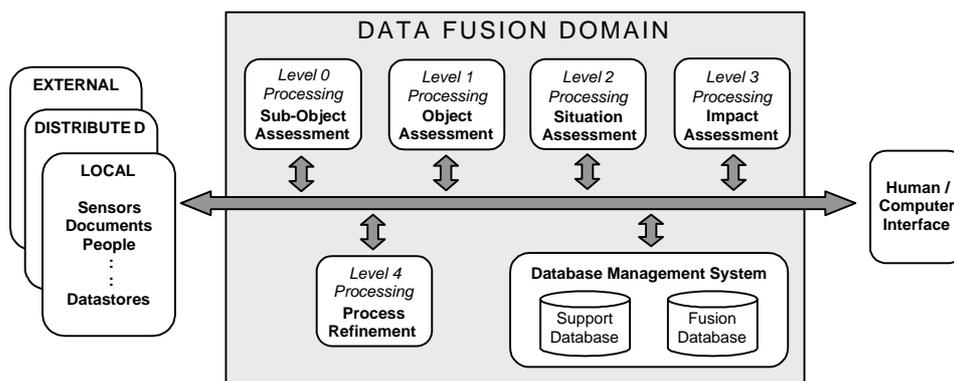


Abbildung 3.3.14: „Revised JDL data fusion model“ [19].

Aus dem funktionalem Blickwinkel kann der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung entsprechend dem „*Revised JDL data fusion model*“ komplett spezifiziert werden. Im Folgenden wird dies jedoch nur für das „*Level 2 Processing – Situation Assessment*“ durchgeführt, denn der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung ist im Kern nichts anderes als eine umfassende Situationsbewertung, d.h. eine Bewertung der aktuellen Online-Sensorik-Messwerte mit einer kontextsensitiven Interpretation. Danach umfasst diese Ebene die Abschätzung/Bewertung und Vorhersage von Entitäts-Zuständen auf der Basis abgeleiteter organisatorischer, kausaler, biologischer und räumlich-zeitlicher Beziehungen zwischen Objekten:

- Basierend auf den Pflanzen- und Bodeneigenschaften, abgeleitet durch „*Level 1 Processing*“, unter Einbeziehung des aktuellen Wetters und des aktuellen Zeitpunktes, wird der aktuelle Pflanzen- und Bodenzustand auf der vorliegenden Teilfläche „**diagnostiziert**“.
- Weiterer Kontext wie das grundsätzliche Ertragspotenzial basierend auf korrigierten Ertragskarten und den im gleichen Jahr bereits ausgebrachten Düngergaben („*applied as maps*“) vergrößern den Lösungsraum und repräsentieren eine detailgetreuere „**Abbildung der Wirklichkeit**“.
- Die Integration von Umweltschutzanforderungen, priorisierter Eingaben des Bedienpersonals sowie der Vermeidung von wiederholter Applikation auf der gleichen Teilfläche (z.B. Überlappung) berücksichtigt **Einschränkungen**.
- Der Zustand der Traktor-Geräte-Kombination impliziert **technische Echtzeit- und Genauigkeitsschranken** für die Applikationstätigkeit.

Im folgenden Schritt sollten alle diese Diagnosen, Beziehungen und Beschränkungen mit einer modellbasierten Vorstellung eines ökonomisch und ökologischen Optimums unter Berücksichtigung der technischen Machbarkeit verglichen und in der Empfehlung für einen Applikationssollwert überführt werden. Dazu schlagen BEDWORTH und O'BRIEN für die Multisensor Data Fusion ein übergreifendes „Omnibus“ Prozess-Modell vor, welches auf dem Zyklus <OBSERVE - ORIENT - DECIDE - ACT> basiert [19]. Dabei ist es jedoch nicht erforderlich, dass dies ein einzelner zyklischer Prozess ist. Vielmehr wird es eher ein hierarchischer und rekursiver Prozess mit Analyse- und Entscheidungsschleifen sein, in welchem sie die Signal- und Merkmalsentdeckung, Bewertung, Evaluierung und Aktionsentscheidung auf verschiedensten Ebenen unterstützen. Dieser Prozess impliziert, dass Ressourcenbelegung und Kontrollaktion, wie z.B. die Sensorausrichtung oder Kommandierung eines Applikationssollwertes, nach der Entscheidungsfindung und der Kontextverarbeitung stattfinden.

Der Vorschlag von ANTONY [22] für ein Prozess-Modell gründet auf der gleichen fundamentalen Idee, jedoch ist er konkreter und geht von einer biologisch motivierten Sichtweise aus, d.h. er kopiert die herausragenden (Multisensor) Data Fusion-Fähigkeiten von Menschen und Tieren hinsichtlich der Situationswahrnehmung. Dieses intuitive Prozess-Modell des Data Fusion-Prozesses führt zu der Identifikation von 15 Klassen von Fusions-Problemstellungen und einer Taxonomie von 16 kanonischen Problemlösungs-Formen (*problem solving forms I - XVI*). Dabei existiert eine definierte Beziehung zwischen dem funktionalen „JDL data fusion model“ und den 15 Klassen von Fusions-Problemstellungen, wie auch eine Beziehung zwischen diesen Klassen und den kanonischen Problemlösungs-Formen. Deswegen bietet dieses Prozess-Modell einen zielführenden Ansatz zur Auswahl eines geeigneten Fusionsalgorithmus.

Auszugweise wird nachfolgend die Ableitung eines geeigneten Problemlösungs-Paradigmas wiedergegeben. Die Analyse der vorherrschenden Wissensarten beim Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung ergibt:

- Die **aktuellen Pflanzen- und Bodenattribute** sind *kurzfristiges deklaratives Wissen*.
- Die **nähere Vergangenheit** der aktuell herrschenden Situation auf der vorliegenden Teilfläche wie die Position von (gerade) ausgebrachtem Dünger, der Zustand der Traktor-Geräte-Kombination und das herrschende Wetter sind *mittelfristiges deklaratives Wissen*.
- Das in **Ertrags- und Bodenkarten** beinhaltete Wissen und statische Beschränkungen aufgrund von Umweltschutz oder Topographie repräsentieren *spezifisches langfristiges deklaratives Wissen*.
- Eine Beziehung oder Prozedur für eine pflanzenbauliche und **landtechnische Bewertung** mit dem Ziel, einen Applikationssollwert abzuleiten und dabei eine ausreichende Reaktionszeit für die eigentliche Applikationstätigkeit zu erreichen, steht für *langfristiges prozedurales Wissen*.

Demzufolge erfordert diese Aufgabenstellung die Komposition von kurz-, mittel- und langfristigem deklarativem und prozeduralem Wissen. Daher repräsentiert der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung eine Fusions-Problemstellung der Klasse 15. Der

„einfachste“ Problemlösungs-Ansatz, der kontextsensitiv ist und die Erfordernisse erfüllt, ist eine rigide modellbasierte Kontrollstruktur mit einer Abstraktionsebene. Da dieser Ansatz fundamental datengetrieben (*data driven*) ist, ist ein „*generation based*“ Algorithmus am besten geeignet. In der Konsequenz entspricht dieser Problemlösungs-Ansatz der *canonical form IX*. Ein typischer Vertreter dieses Ansatz ist ein Expertensystem entsprechend dem Produktionssystems-Paradigma und einem vorwärts-verkettetem Inferenzmechanismus.

Die „Übersetzung“ des funktionalen Modells und des Prozess-Modells in eine physikalische (Hardware- und Software-) Architektur erfordert die Zuordnung zahlreicher Anforderungen in Funktionen und Subfunktionen innerhalb eines Data Fusion-Systems. Eine primäre Aufgabe bei dem Entwurf einer Systemarchitektur ist die Auswahl einer zentralen, verteilten oder hybriden Struktur. Ebenso nehmen für den Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung die standardisierten Landwirtschaftlichen BUS-Systeme ISO 11783 und DIN 9684 eine besondere Rolle für den Subsystem-Entwurf und die Synthese ein.

Eine vorstellbare Implementierung der funktionalen Spezifikation und des Prozess-Modells ist ein verteiltes Sensornetzwerk (kurzfristiges Wissen), ein zentraler Fusionsknoten mit mittelfristigem Wissen, langfristig deklarativem Wissen in Form der Überlagerungskarten und prozeduralem Wissen in Form eines Expertensystems. Unglücklicherweise ist eine nahtlose Transformation in eine Systemarchitektur basierend auf den Landwirtschaftlichen BUS-Systemen (ISO 11783, DIN 9684) nicht möglich. Die Teilflächenbewirtschaftung ist nur im Kontext des Kartierungsansatzes in diesen Normen definiert. Die Integration von Online-Sensorik hat in der Projektlaufzeit Fortschritte bei der Definition im ISO-Standard erfahren, der Überlagerung mit Karten wurde jedoch noch keine Aufmerksamkeit geschenkt. Jedoch erlaubt die vom Autor 2003 vorgeschlagene Definition eines „In-field Controllers“ eine ISO 11783 bzw. DIN 9684-kompatible Implementierung von hochentwickelten Multisensor Data Fusion-Techniken. Dieser „In-field Controller“ ist die Implementierung des oben genannten zentralen Fusionsknoten, der mittels eines integrierten Expertensystems Daten der Onlinesensorik (z.B. vegetation index: REIP) und Daten der „precision farming maps“ (historischer Ertrag, EM38, Zugkraft, applizierte Düngemenge des gleichen Jahres) aus dem Farm Management Information System (FMIS), sowie Beschränkungen aufgrund des Umweltschutzes in Echtzeit im Feld fusionieren kann.

#### 3.3.4.3 Simulation

Kernstück der Simulation ist die Implementierung des Expertensystems. Für diese Implementierung wurde SRIRAMs Methodik [23] zur Entwicklung eines wissensbasierten Systems angewandt. Danach kann die Entwicklung als eine Transformation vom *Specification-Level* hin zum *Tool-Level* gesehen werden. Die Stufen dazwischen sind *Task-Level*, *Problem-solving-Level* und *Knowledge-based-Level*. Auf der Stufe des *Specification-Levels* wurden vor allem die Zeitbedingungen der Prozesstechnik definiert. Danach ergibt sich für den Bewertungs- und Entscheidungsprozess in etwa die verfügbare Zeitdauer von 1,1 sec unter der Annahme, dass die Traktor-Gerätekombination die Düngetätigkeit mit einer Geschwindigkeit von 4 m/s durchführt und eine Kommunikation über den ISOBUS stattfindet.

Die *Task-Level* Zuordnung gibt keine Rätsel auf. Die Aufgabenstellung, der *Task*, ist *Control* (Steuerung, Regelung). Auf dem *Problem-solving-Level* lassen sich grob such- und wissenszentrierte Problemlösungsstrategien und Problemlösungstechniken unterscheiden. Tiefensuche und Vorwärtsverkettung sind dem vorliegenden Anwendungsfall angemessen. Auf dem *Knowledge-based-Level* stellt sich die Frage, wie Wissen am besten repräsentiert wird. Wie bereits in der Modellierung anhand des Prozess-Modells abgeleitet wurde, ist die Wissensrepräsentation in Form eines Produktionssystems, d.h. in Form von (Entscheidungs)Regeln (*rules*) geeignet. Für die Fakten (*facts*), dies sind die Karten- und die Online-Sensorik-Prozessdaten, bietet sich eine objekt-orientierte Beschreibung an. Nach Bewertung der Ergebnisse der vorausgegangenen Stufen fehlt als letzter Schritt zur konkreten Umsetzung noch die Auswahl eines Implementierungsparadigmas auf dem *Tool Level*. Die Wahl fiel auf den Einsatz einer Expertensystem-Shell. Hauptkriterien bei der Auswahl waren dafür die Fähigkeiten der Wissensrepräsentation, Inferenzmechanismen, Echtzeitfähigkeit, Entwicklungsumgebung, Programmierschnittstellen, der Support und die Kosten. Aufgrund der zugesicherten Echtzeitfähigkeit war *G2* von *Gensym Corporation* (USA) Wunschkandidat. Jedoch sprachen die Kosten gegen die Verwendung. Selbst nach Abzug von 85% Hochschulrabatt sollte die Lizenz noch 15.000 € zuzüglich weiterer Schulungskosten kosten. Dieser Posten war jedoch in der Projektfinanzierung nicht vorgesehen, daher fiel die Wahl auf die für nichtkommerzielle und für akademische Nutzung kostenlose Alternative *JESS* (Java Expert System Shell; *Sandia National Laboratories*). *JESS* verfügt über keinen so mächtigen Funktionsumfang wie *G2* und bietet keine zugesicherte Echtzeitfähigkeit, jedoch einen sehr schnellen Matching-Algorithmus (RETE) für die Inferenzeinheit und eine Programmierschnittstelle zu der Programmiersprache *Java*<sup>TM</sup> (*Sun Microsystems Inc.* ).

Die Installation erfolgte auf einem Notebook für raue Umweltbedingungen und dem Betriebssystem *Windows 2000 Professional* (*Microsoft Corporation*) mit einer *Java 2 SE Virtual Machine*. Darauf basierend wurde die Expertensystem-Shell *JESS* (Version 6.14) installiert. Den groben Systemaufbau der Simulation gibt Abb. 3.3.15 wieder.

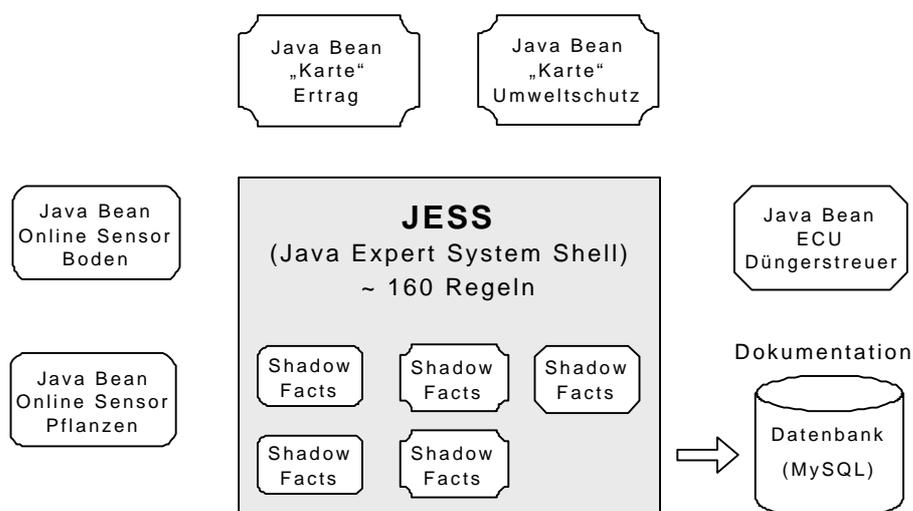


Abbildung 3.3.15: Blockdiagramm des Systemaufbaus der Simulation

Zentrale Komponente ist die Shell mit dem Regelwerk aus 4 Komponenten. Zum einen sind dies die Entscheidungsregeln aus dem Teilprojekt 12, die eine pflanzenbauliche Interpretation der Online-Sensorik und der Kartendaten vornehmen und darauf basierend einen Sollwert vorschlagen. Die zweite Komponente sind Regeln, die Einschränkungen wie vorgegebene Grenzwerte verarbeiten. Die dritte Komponente sind Regeln zur landtechnischen Bewertung, die z.B. Nutzereingaben oder den „Gesundheits-Status“ der Sensoren berücksichtigen. Die vierte Komponente fasst die Ergebnisse der ersten drei Komponenten zusammen und trifft eine abschließende Empfehlung für den Applikationssollwert. Des Weiteren sind auch noch einige Regeln für „Infrastruktur“-Aufgaben implementiert.

Der Einsatz der objekt-orientierten Softwarekomponententechnik *JavaBeans* (*Sun Microsystems Inc.*) erlaubt es, die Prozessumgebung (aktuelle Online-Sensorik-Prozessdaten und Kartendaten) zu simulieren und somit zugleich die Fakten für das Expertensystem zu gewinnen. In JESS werden dazu *Shadow Facts* angelegt, in denen sich die Eigenschaften, d.h. Messwerte, eines Online-Sensors oder einer Überlagerungskarte, die jeweils durch eine *JavaBean* nachgebildet werden, spiegeln. Die Testdaten der „*JavaBeans*“ können per Zufallsgenerator simuliert oder als reale Versuchsdaten aus einer Datenbank gelesen werden. Die Datenbank wurde auf der Basis des Open Source Datenbank-Produkts *MySQL* implementiert. Auch der Düngerstreuer wird mit einer *JavaBean* umgesetzt, nur dreht sich dabei die Datenflussrichtung um. Der abgeleitete Applikationswert wird in dem „Düngerstreuer *Shadow Fact*“ abgelegt und in die „Düngerstreuer *JavaBean*“ gespiegelt. Parallel dazu wird dieser Sollwert in der Datenbank zu Dokumentationszwecken abgespeichert. Ebenfalls werden Messdaten über die Zeitdauer eines Bewertungs- und Entscheidungszyklus sowie die Datenbankzugriffszeiten in der Datenbank hinterlegt.

Somit sind alle relevanten Multisensor Data Fusion- und Dokumentationsprozesse der Realtime Prozessführung für sensorgestützte Dünagesysteme realisiert. Da JESS jedoch nur eine zeilenorientierte Ein/Ausgabeschnittstelle besitzt, wurde unter Nutzung der Java-GUI-Bibliothek *Swing* eine interaktive Benutzerschnittstelle entworfen. Abbildung 3.3.16 zeigt die fertige Implementierung, die der Simulation ein „Gesicht“ gibt.

Mit Schieberegler können sowohl die Kartenwerte, wie auch der Online-Sensorik-Messwert eingestellt werden. Zugleich erfüllen diese Schieberegler auch eine Anzeigefunktion. Bei der roten Anzeige für den Applikationssollwert ist dies die einzige Funktionalität, bei allen anderen Messwerten tritt die Anzeigefunktion bei Testdatengenerierung per Zufallsgenerator oder bei der Wertabfrage aus der Datenbank in den Vordergrund. Im Feld „*User Controls*“ kann der Nutzer seine eigenen Entscheidungs- und Übersteuerungswünsche kommandieren, wie z.B. die Entscheidung zwischen manuellem oder automatischem Betrieb oder eine prozentuale Sollwertübersteuerung. Des Weiteren können auch Einstelloptionen vorgenommen werden. So lässt sich der Online-Sensor abschalten (Fehlersimulation bzw. Simulation des Kartierungsansatzes). Der „*In-field Controller*“ erkennt diese neue Situation und verwendet ein alternatives Regelwerk für die pflanzenbauliche Bewertung.

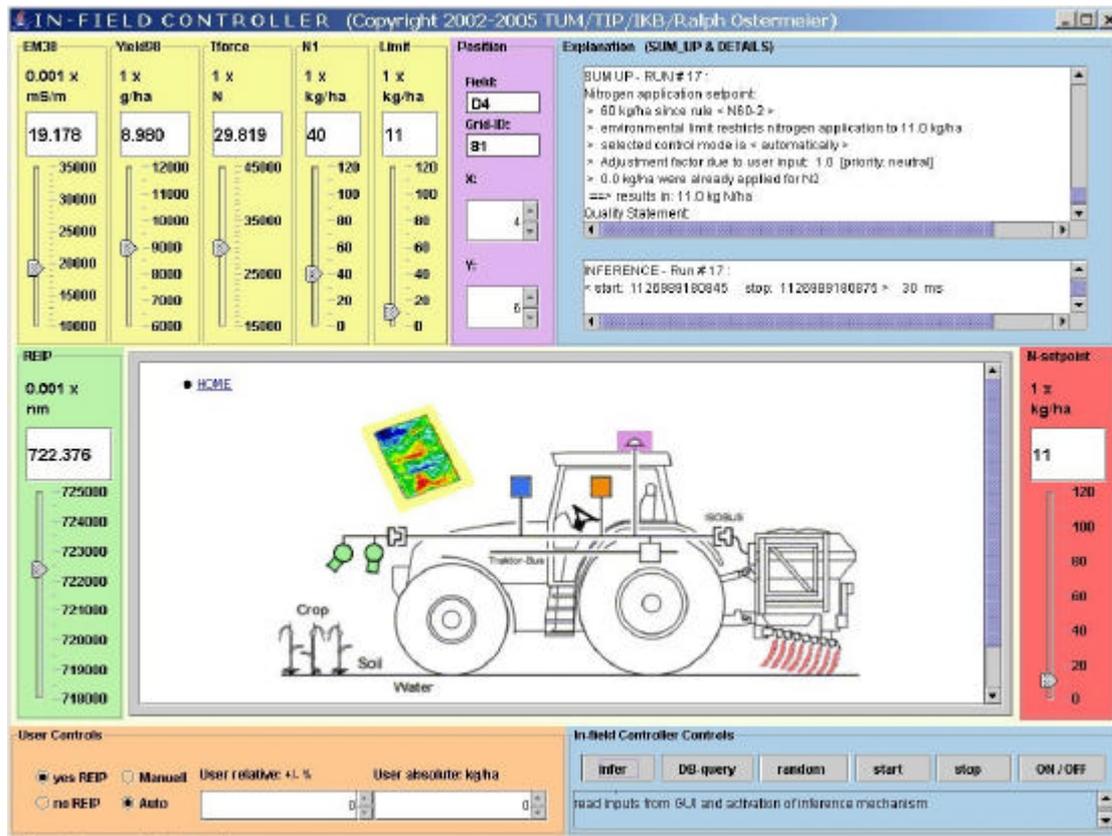


Abbildung 3.3.16: Benutzerschnittstelle der Simulation

Ohne eine Erklärungsschnittstelle ist ein Expertensystem unvollständig. Diese Schnittstelle wird mittels zweier Komponenten, dem *Zentralen Fenster* und dem *Explanation-Fenster*, realisiert. So kann das Zentrale Fenster „html-Seiten“ interpretieren und darstellen. In der implementierten Ausbaustufe kann sich der Nutzer einen Überblick über die gesamte Prozesssteuerung und das Regelwerk in grafischer Form (Entscheidungsbäume und Mind Maps) schaffen. Weiterhin wird im *Explanation-Fenster* der Schlussfolgerungsverlauf jedes einzelnen Zyklus dargestellt und die dafür benötigte Zeit angegeben.

Die Ergebnisse für die typischen (~ 85% aller Durchläufe) und maximalen Durchlaufzeiten sind für unterschiedliche Hardwarekonfigurationen in Tabelle 3.3.3 aufgelistet. Werden für den „worst case“-Fall von 90 ms noch Lese/Schreibzugriffe auf die Datenbank von etwa 40 ms addiert, so wird die maximal zur Verfügung stehende Zeit von 1,1 sec nur zu 12 % ausgenutzt, d.h. das System ist für die definierten Randbedingungen echtzeitfähig und bietet noch Erweiterungspotential.

### 3.3.4.4 Ergebnisse, Forschungsstand, Anwendungsperspektiven, Folgeuntersuchungen

Bisher wurde weder national noch international ein durchgängiger Spezifikations- und Entwicklungsansatz für eine Realtime Prozessführung für mobile Applikationssysteme unter Nutzung von Multisensor Data Fusion dargelegt. Auch fehlte dieser Ansatz in den Normungsbestrebungen für das landwirtschaftliche BUS-System.

Tabelle 3.3.3: Durchlaufzeiten für einen Bewertungs- und Entscheidungszyklus der Simulation

<i>Index</i>	<i>Prozessor</i>	<i>Arbeits- speicher</i>	<i>Betriebssystem</i>	<i>Durchlaufzeit typisch</i>	<i>Durchlaufzeit maximal</i>
1	Intel Pentium III Mobile, 1.0 GHz	640 MB RAM	Microsoft Windows 2000 Professional	10 ms	60 ms
2	Intel Pentium III Celeron, 0.8 GHz	256 MB RAM	Microsoft Windows XP Home	20 ms	90 ms
3	Intel Pentium III Celeron, 1.5 GHz	256 MB RAM	Microsoft Windows XP Home	10 ms	60 ms

Mit dem aufgezeigten Beispiel wurde nun diese Lücke geschlossen. Die Realisierung der Simulation zeigt die Umsetzbarkeit der vorgestellten Konzepte in Hard- und Software. Die Simulation selbst kann sowohl als Präsentationsmedium für das Fachpublikum eingesetzt werden, als auch im Rahmen der Forschung und Lehre (z.B. Vorlesungen: „Site-Specific-Farming“, „Spezielle Techniken der Landnutzung“) einen interaktiven Zugang zu Formen von „intelligenten Steuerungen“ schaffen. Inwieweit es in die Normungsbemühungen Eingang finden wird, ist nicht absehbar. Auch kann nicht abgeschätzt werden, ob, wann und wie dieses Beispiel in die Prozesssteuerung der Landtechnik Eingang finden wird. Jedenfalls konnte ihr damit ein hilfreiches Werkzeug zur Analyse und Systementwicklung an die Hand gegeben werden.

Generell wird auch ein weiterer Forschungsbedarf für dieses Aufgabengebiet gesehen. Dies betrifft vor allem Verfahren zur Leistungsmessung und Leistungsbewertung von Realtime-Prozessführungen für mobile Applikationstechniken, die auf Multisensor Data Fusion basieren. Erste Arbeiten in dieser Richtung wurden im Rahmen eines „post doc“-Gastwissenschaftleraufenthalts (gefördert durch den DAAD) begonnen und in einem ersten Vorschlag in den Grundzügen veröffentlicht. Von besonderem grundlagenorientiertem Interesse wäre auch die Ausweitung der untersuchten Eingrößen-Prozesssteuerung hin zu einer Mehrgrößeneinheit. Anknüpfungspunkt für die anwendungsorientierte Forschung wäre die Integration der vorgestellten Lösung in den realen Versuchsbetrieb und eine somit mögliche experimentelle Erprobung.

Wissenschaftliche Mitarbeiter in diesem Projektbereich:

- Dipl.-Ing. R. Ostermeier (TP 8)
- Dipl. Kfm. G. Weigert (TP 12)
- Dr. P. Machado (DAAD Stipendiat, Brasilien)
- M. Sc., Dipl.-Ing. (FH) Ehrl (Grundausstattung)

### 3.3.5 Literatur

- [1] **Free Software Foundation, Inc. (1999):** Lesser General Public Licence (Version 2.1), 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110, USA
- [2] **Auernhammer, H., M. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier, and K. Wild (1993):** Yield Measurement on combine harvesters. An ASAE Meeting Presentation, Paper No. 93-1506, 1993, Chicago, Illin./USA. 8 pp.
- [3] **Reitz, P. and H.D. Kutzbach (1996):** Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 14 (1996), p. 137-150
- [4] **Kormann, G. (1998):** Entwicklung und Test eines Prüfstandes für Ertragsmeßsysteme auf Mähdreschern. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 1998, Garching, VDI-Verlag Düsseldorf, S. 275-280
- [5] **ASABE (1999):** X578: Yield monitor performance test standard. ASABE Standard, PM-54, St. Joseph (USA)
- [6] **ASABE (2005):** X579: Yield monitoring field test engineering procedure. ASABE Draft Standard, PM-54, St. Joseph (USA)
- [7] **Rothmund, M., Zipprich, M., Auernhammer, H., Demmel, M. (2003):** Zugkraftmessung bei der Bodenbearbeitung als ergänzende Information zur Standortbeschreibung, Tagungsband Landtechnik 2003, VDI-MEG, Düsseldorf, ISBN: 3180917989, S. 305-310
- [8] **Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2003):** Methods and Services of Data Processing for Data Logged by Automatic Process Data Acquisition Systems, Proceedings of XXX CIOSTA Congress, Torino, Italy, ISBN: 8888854096, p. 713-721
- [9] **Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2003):** Data Management for Transborder Farming. Stafford, J. and A. Werner (eds.): Precision Agriculture, Proceedings of the 4th ECPA, Berlin, Germany, ISBN: 9076998213, p. 597-602
- [10] **Steinberger, G., Rothmund, M., Auernhammer, H. (2005):** Serverbasierte Verarbeitung von Prozessdaten nach ISO 11783 (ISOBUS), Referate der 25. GIL-Tagung, Potsdam (in Druck)
- [11] **Spietz, C. (2005):** Methodenpapier agroXML, Version 1.0, 28.06.2005, Im Internet: [www.agroxml.de/fileadmin/data/agroxml/Methodenpapier\\_draft.pdf](http://www.agroxml.de/fileadmin/data/agroxml/Methodenpapier_draft.pdf)
- [12] **Kutzbach, H.D. (2001):** Mähdrescher. Matthies, H.J. und F. Meier (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2001, Bd. 13, Landwirtschaftsverlag Münster, S. 125-132
- [13] **Murphy, D.P., E. Schnug and S. Haneklaus (1994):** Yield Mapping - A Guide to Improved Techniques and Strategies. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (eds.): Site-Specific Management for Agricultural Systems. Proc. 2nd Intern. Conf. of ASA, CSSA, SSSA, 1994, Minneapolis, MN/USA, p. 33-47
- [14] **Blackmore, S., Moore, M. (1996):** Yield Mapping; Errors and Algorithms. Robert, P.C., Rust, R.H. and W.E. Larson (eds.): Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd int. Conference on Precision Agriculture, Minneapolis (MN), USA, p.403-415
- [15] **Blackmore, S. (1999):** Remedial Correction of Yield Map Data. Precision Agriculture 1/1999, Kluwer Academic Publishers, Boston (Mass.), USA, p.53-66
- [16] **Noack, P.O., Muhr, T., Demmel, M. (2001):** Long Term Studies on Determination and Elimination of Errors Occuring during the Process of Georeferenced Yield Data Colloection in Combine Harvesters. Grenier, G. and Blackmore S. (eds.): Proceedings of the 3rd ECPA, Montpellier, France, p. 833-837
- [17] **Auernhammer, H., Demmel, M. (1997):** Teilschlagbezogene Produktionstechnik. FAM Schlussbericht 1993-1998, Neuherberg 1998, FAM-Bericht 26, S. 43-50
- [18] **Noack, P.O., Muhr, T., Demmel, M. (2003):** An Algorithm for Automatic Detection of Defective Yield Data. Stafford, J. and A. Werner (eds.): Precision Agriculture, Proceedings of the 4th ECPA, Berlin, Germany, ISBN: 9076998213, p. 445-450

- [19] **Steinberg A.N. and Bowman Ch.L. (2001):** Revisions to the JDL Data Fusion Model. In: Handbook of multisensor data fusion (Eds.) Hall D. L., Llinas J. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 2-1 - 2-19
- [20] **Hall D. L. and Llinas J. (2001):** Multisensor Data Fusion In: Handbook of multisensor data fusion (Eds.) Hall D. L., Llinas J. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 1-1 - 1-10
- [21] **Waltz E. and Llinas J. (1990):** Multisensor Data Fusion, Artech House, Norwood, pp. 15-39
- [22] **Antony R. T. (1995):** Principles of Data Fusion Automation. Artech House, Boston, pp. 27-60
- [23] **Sriram R. D. (1997):** Intelligent Systems for Engineering, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp. 12-28

### 3.4 Ökonomie und Ökologie (P. Wagner)

Die Durchschlagskraft und Akzeptanz von Precision Farming - technische Durchführbarkeit voraussetzend - hängt entscheidend von der Bewältigung der Informationsflut (Datenmanagement), klaren Entscheidungsregeln über zu ergreifende Maßnahmen, der Wirtschaftlichkeit und der (positiven) Umweltwirkungen zusammen. Diese vier Bereiche wurden in den vier Teilprojekten bearbeitet um jeweils Fortschritte in den genannten Fragestellungen zu erzielen:

Informationsmanagement (TP 6): Direkte Erfassung, Übertragung, Speicherung und flexible Verarbeitung von bei kleinparzellierter Bewirtschaftung entstehenden Daten für ökonomische Auswertungen.

Wirtschaftlichkeit (TP 7): Entwicklung und Programmierung eines Kostenrechnungssystems zur Handhabung und Auswertung von bei kleinparzellierter Bewirtschaftung entstehenden Daten und Ableitung ökonomischer Aussagen.

Entscheidungsregeln (TP 12): Ableitung von Entscheidungsregeln zur kleinräumigen N-Düngung auf Basis datenbankgestützter Informationen und Expertenbefragungen.

Umweltwirkung (TP 13): Ökologisch-ökonomische Bewertung der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung.

#### 3.4.1 Informationsmanagement (TP 6, Dipl.-Ing. agr. H. Linseisen)

Ziel des im TP6 zu entwickelnden stationären Informationssystems war es, GPS-Daten der mobilen Prozesstechnik und weitere relevante Daten aufzunehmen, abzuspeichern und angemessen verrechnet an weitere Komponenten des Systems (IST-Kostenrechnung (TP7), Versuchsplanung und Auswertung) abzugeben bzw. Datenausgaben dieser Komponenten wieder aufzunehmen (Abb. 3.4.1).

Damit soll ein den Entscheidungsträger bei Managementaufgaben für Precision Farming-Ansätze unterstützendes Informationssystem, ein so genanntes „Management-Informationssystem“ (MIS), entwickelt werden. Dieses System soll den Regelkreis von der Datenerfassung, der Auswertung und Planung, bis hin zur Auftragsanweisung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen für praktische und wissenschaftliche Zwecke verbessert bewältigen können. Durch Offenlegung der hierzu notwendigen Programmabläufe und Datenbankstrukturen soll eine Diskussionsbasis für eine zukünftig reibungslosere „Datenlogistik“ zur Zieldefinition, Planung, Entscheidung, Kontrolle und Bewertung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf dem stationären Betriebsrechner geschaffen werden. Ansätze für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung („Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung“), stehen dabei im Mittelpunkt.

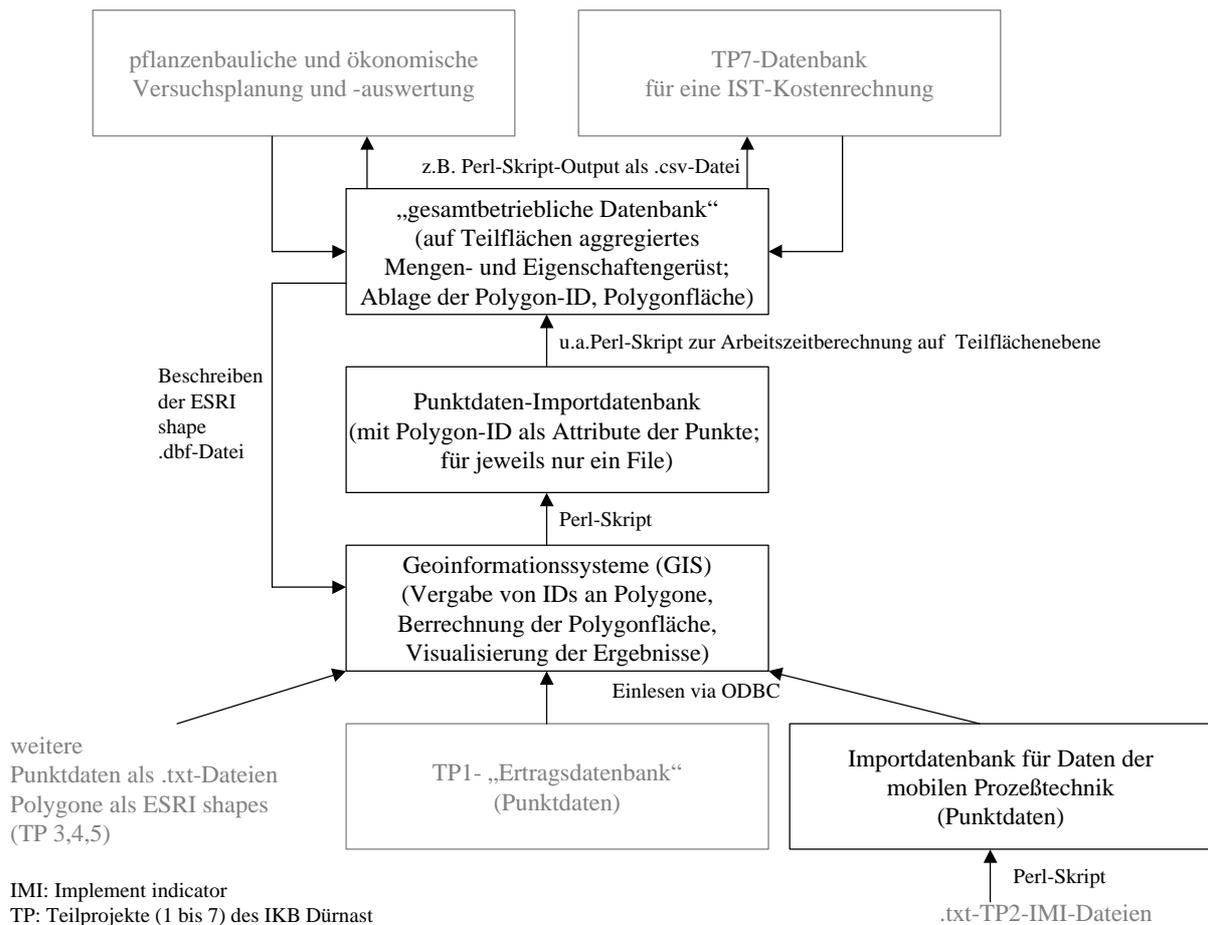
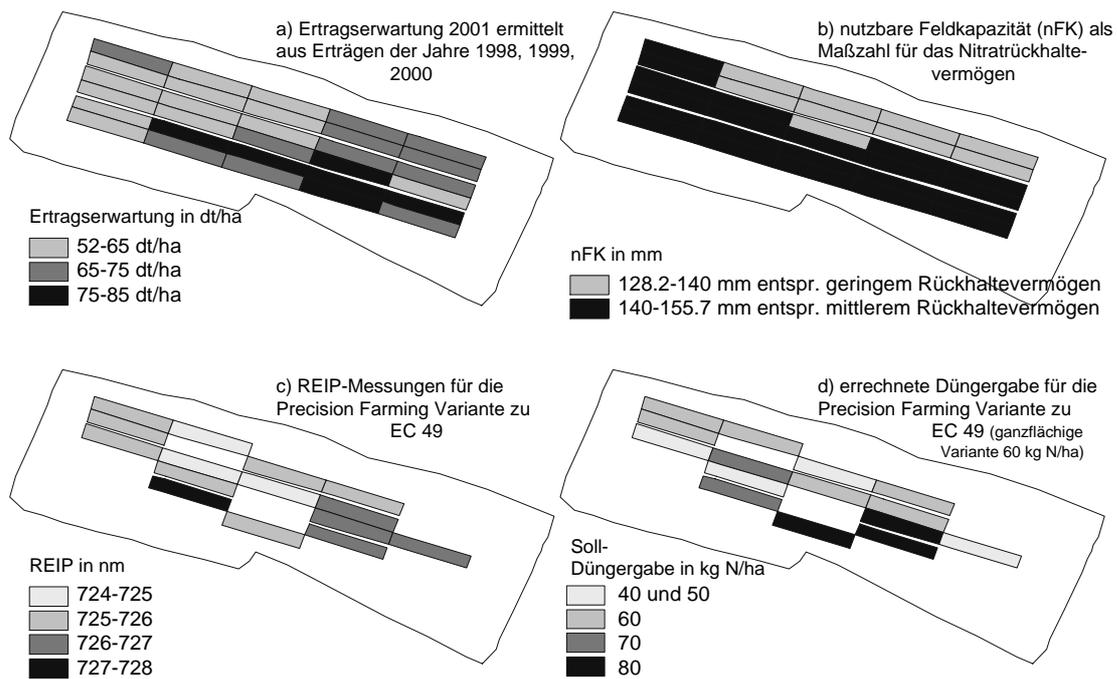


Abbildung 3.4.1: Konzept für ein stationäres Informationssystem zur kleinräumigen Bestandesführung (in schwarz die von Teilprojekt 6 zu realisierenden Komponenten)

Dieses Konzept der Datenaufbereitung dient neben der Dokumentation insbesondere für die pflanzenbauliche und ökonomische Versuchsplanung und Auswertung, für die Versuchsdurchführung sowie als Datenbasis für eine IST-Kostenrechnung (TP7).

### 3.4.1.1 Versuchsplanung

Im Rahmen des IKB Dürnast werden vor allem Versuche zum „Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung“ durchgeführt. Im Rahmen des Informationssystems ist es hierbei notwendig, relevante Daten für eine Soll-Düngerberechnung auf Teilflächen, die in Fahrgassenrichtung ausgerichtet sind, zuzuordnen (Abb. 3.4.2; im Beispiel haben die Teilflächen eine Breite von 7,5 m und eine Länge von 40 m). Eine Kalkulation der teilflächenspezifischen Ertragserwartung ist notwendig, um ausreichend N für die jeweilige Einlagerung in die Pflanze bis zur nächsten Düngung bzw. Ernte zur Verfügung zu stellen. Der REIP wird als Indikator für eine aktuelle N-Über-/Unterversorgung herangezogen. Bei Teilflächen mit geringer nFK wird wegen ökologischen Gesichtspunkten mit einem Abschlag bei der Berechnung der N-Düngergabe gerechnet. Die Datenaufbereitung für Versuchsauswertungen ist ähnlich.



**Datenbasis:** a) Ertragserswartung aus Erträgen der Jahre 1998, 1999, 2000; Institut für Landtechnik TUM, Lehrstuhl für Pflanzenernährung TUM; b) nFK: Lehrstuhl für Bodenkunde TUM, Lehrstuhl für Pflanzenernährung TUM; c) REIP-Messungen: Lehrstuhl für Pflanzenbau und -züchtung TUM; **Datenverarbeitung und Berechnung der Soll-Düngergabe:** eigene Arbeiten

Abbildung 3.4.2: Beispiel für eine Versuchsplanung im Rahmen des stationären Informationssystems (bei a) und b) Darstellung der Information für beide Versuchsvarianten; bei c) und d) nur Darstellung der Precision Farming Variante)

### 3.4.1.2 Versuchsdurchführung

Im TP6 sind auf dem stationären Informationssystem erste Schritte unternommen worden, um den Vorgang der Ausrichtung von Informationen auf Fahrgassen und Teilarbeitsbreiten zu automatisieren. Die Automatisierung wird um so wichtiger, je kleiner das Areal wird, auf das noch mit einer unterschiedlichen (z.B. Dünger-) Gabe reagiert werden soll. Ein erstes Resultat der hierfür notwendigen Funktion der „Ausrichtung von Informationen auf Fahrgassen und Teilarbeitsbreiten“ wird in Abbildung 3.4.3 gezeigt.

Auf Basis der in der Datenbank verfügbaren Informationen wurden erstmals Entscheidungsregeln (Abb. 3.4.4) für die teilflächenspezifische N-Düngung von Winterweizen entwickelt. Diese Regeln stellen die Vorläufer der in TP12 mit anderen methodischen Hilfsmitteln entwickelten Entscheidungsregeln dar.

### 3.4.1.3 IST-Kostenrechnung

Sind keine Informationen über markante Teilflächen vorhanden, ist es für mehrjährige Kostenrechnungen sinnvoll, Punktdaten auf 30\*30 Meter Raster zu aggregieren. Bei diesen Rastergrößen ist mit guten Korrelationen bei Vergleichen zwischen den Jahren zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass dies ebenso für Leistungs-Kostendifferenzen gilt, da für deren Berechnungen der naturale Ertrag einen sehr wichtigen Faktor darstellt.

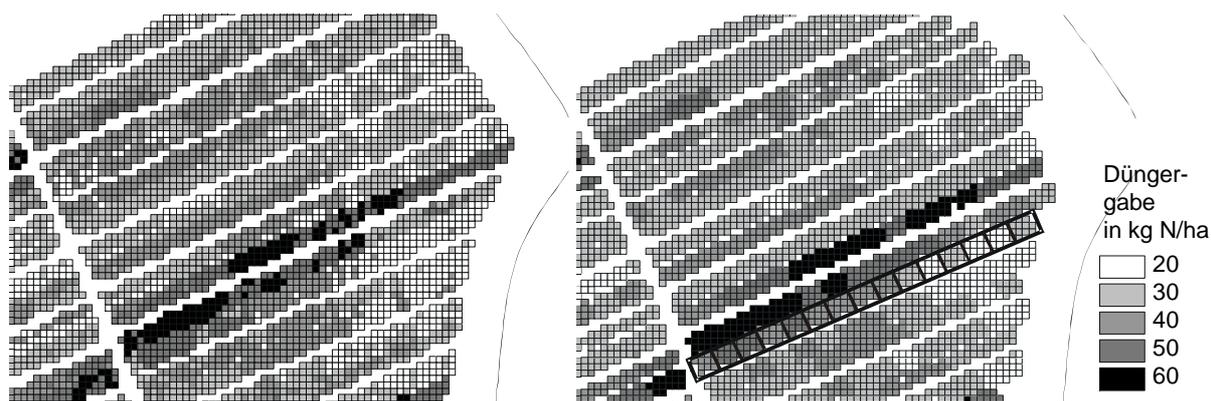


Abbildung 3.4.3: Beispiel für eine Versuchsplanung im Rahmen des stationären Informationssystems (bei a) und b) Darstellung der Information für beide Versuchsvarianten; bei c) und d) nur Darstellung der Precision Farming Variante)

```

IF (EEts,f < 65)
  SREIPts = 725.5;
  DGts = (SREIPts - IREIPts) * fa + NBts - Abschlagts;
ELSE IF (65 ≤ EEts,f < 75)
  SREIPts = 726.0;
  DGts = (SREIPts - IREIPts) * fa + NBts - Abschlagts;
ELSE (EEts,f ≥ 75)
  SREIPts = 727.0;
  DGts = (SREIPts - IREIPts) * fa + NBts - Abschlagts;
END IF

```

Darin sind:

- EE<sub>ts,f</sub> = Ertragserwartung eines Teilstreifens (ts) zu EC 49 für die Ernte der derzeit angebauten Frucht (f) 2001 in dt/ha.
- SREIP<sub>ts</sub> = Soll-Kennzahl ermittelt aus Reflexionsmessungen in nm als Indikator für einen aktuell optimalen N-Versorgungszustand der Pflanzen eines Teilstreifens (ts).
- IREIP<sub>ts</sub> = Ist-Kennzahl ermittelt aus Reflexionsmessungen in nm für jeden Teilstreifen (ts).
- fa = Umrechnungsfaktor von Soll-Ist-Abweichung in nm zu einer aktuellen Unterversorgung (+) bzw. Überversorgung (-) der Pflanzen in kg N/ha eines Teilstreifens (nach Liebler et al., 2001, S. 939). Akzeptierte Spanne der Werte: +20 bis -5 kg N/ha.
- NB<sub>ts</sub> = N-Bedarf der Pflanze zwischen EC 49 und Ernte in Abhängigkeit von der Ertragserwartung als EE<sub>ts</sub> - 10 in kg N/ha (nach Diepolder, 1994, S. 152).
- Abschlag<sub>ts</sub> = bei Teilstreifen mit einer nfk < 140 mm wird wegen einem höheren Nitratauswaschungspotentials ein Abschlag bei der Düngergabe von 10 kg N/ha vorgenommen.

Abbildung 3.4.4: Errechnete Düngergabe (DGts) je Teilstreifen für die Variante 5 zu EC 49 (Pseudocode)

Für Kostenrechnungen relevante, von der mobilen Prozesstechnik kommende Informationen können sein: Zeit, Prozess (z.B. N-Düngung mineralisch), Ort (unterste Einheit die Teilfläche), Namen beteiligter Maschinen und Personen, Treibstoffbezeichnung und Treibstoffverbrauchs menge, Applikationsgutbezeichnung und -verbrauchs menge, Erntegutbezeichnung und -menge. Zeit, Namen der beteiligten Maschinen, Treibstoffverbrauch, Applikationsgutverbrauchs menge, Erntegutmenge mit jeweiligen Einheiten werden automatisiert durch die mobile Prozesstechnik erfasst. Eingaben über Namen beteiligter Personen, Applikationsgut- und Erntegutbezeichnung mit jeweiligen Einheiten müssen derzeit während des Imports in das stationäre System noch z.T. manuell eingefügt werden. Die Information, um welchen Prozess es sich handelt, wird aus der Kombination der Schlepper- und Maschinenbezeichnung automatisiert gewonnen. Ermittelt wird der Ort (v.a. für Teilflächen) durch die von der mobilen Prozesstechnik für jeden Datensatz übertragenen x- und y- Koordinaten im GIS.

### 3.4.2 Wirtschaftlichkeit (TP 7, Dipl.-Ing. agr. C. Augsburg)er)

Ziel von Teilprojekt 7 war die Konzeption und Programmierung eines in der landwirtschaftlichen Praxis einsetzbaren gesamtbetrieblichen Ist-Leistungs-Kostenrechnungssystems, in dem zum einen diese mobilen Prozesstechnikdaten automatisiert integriert werden können, um dadurch den manuellen Datenerfassungsaufwand zu reduzieren. Zum anderen sollen damit bei einer kleinräumigen Bewirtschaftung anfallende Daten verarbeitet und insbesondere im Hinblick auf eine ökonomische Beurteilung einer kleinräumigen im Vergleich zu einer schlageinheitlichen Bewirtschaftungsweise ausgewertet werden können.

Die Umsetzung des Konzepts der Leistungs-Kostenrechnung in ein Softwareprogramm wurde mit Borland® Delphi 4.0 auf der Basis einer Microsoft® Access '97 Datenbank für die Datenhaltung durchgeführt. Ergebnis dieser Entwicklungsarbeiten ist das Softwareprogramm "SiSCA" (Site-Specific Cost-Accounting), das auch im praktischen Einsatz auf dem Versuchsbetrieb Dürnast der TU München in Weihenstephan getestet wurde.

Das Leistungs-Kostenrechnungsmodell SiSCA baut im Wesentlichen auf zwei Datentypen (Abb. 3.4.5) auf. Das sind zum einen die in den verschiedenen Kontenplänen festgehaltenen Stammdaten. Darunter zählen der Kostenartenplan, der Kostenstellenplan, incl. dem Verzeichnis teilflächenspezifisch bewirtschafteter Flächen, der Kostenträgerplan, der Prozessplan, der Produktionsplan, der Bestandskontenplan, ein Verzeichnis für Kostenstellen- und Kostenträgerumlagesätze sowie ein Preisverzeichnis für als Bestandskonten definierte Kostenarten und Kostenträger. Mit diesen Kontenplänen, die an unterschiedlichste Betriebsgegebenheiten angepasst werden können, werden die verschiedenen wirtschaftlichen Prozesse des Versuchsbetriebes in Form hierarchisch gegliederter Zuordnungsobjekte für Leistungen und Kosten abgebildet. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Gliederung von Kostenstellen nach Haupt-, Neben-, Hilfs- und allgemeinen Betriebskostenstellen sowie außerbetrieblichen Kostenstellen. Zum anderen sind dies die in Form einer zweckneutralen Grundrechnung organisierten Bewegungsdaten mit der laufenden Erfassung von Leistungen und

Kosten gemäß dem Prinzip der relativen Einzelkostenrechnung. Zusätzlich ist in SiSCA eine Beständeverwaltung integriert, mit der – auf der Basis der Bestandskonten – die Verwaltung und die Kontrolle der einzelnen Materialbestände mit ihren jeweiligen Zu- und Abgängen ermöglicht wird und die die Grundlage für die Erfassung von aktuellen Marktpreisen im zugehörigen Preisverzeichnis bildet.

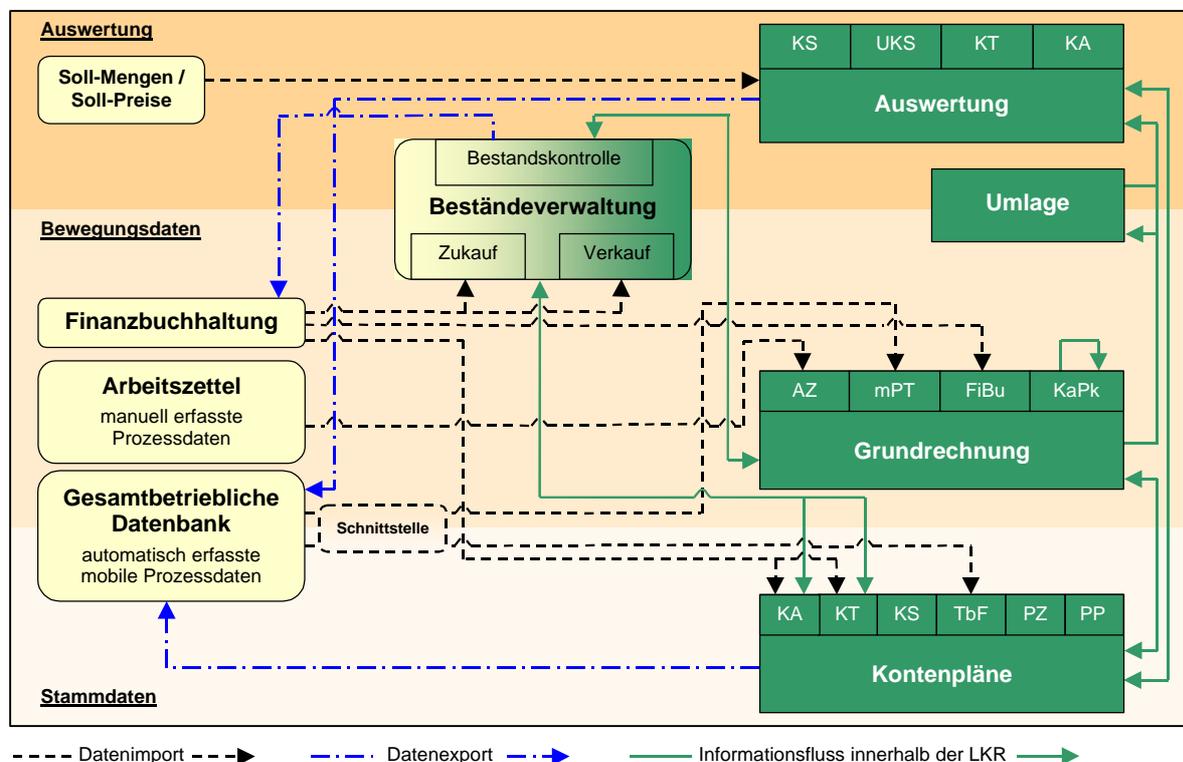


Abbildung 3.4.5: Datentypen und Datenströme im System der Leistungs-Kostenrechnung im IKB-Dürnast

Die Kontenpläne, die Beständeverwaltung sowie die Bewegungsdaten werden in SiSCA in verschiedenen Datentabellen der zugrunde liegenden relationalen Access® '97 Datenbank abgelegt, welche in SiSCA als Mandant oder Mandantendatenbank bezeichnet wird. Über die Mandantenverwaltung von SiSCA ist der Zugriff auf verschiedene Mandantendatenbanken möglich, so dass von einem Betrieb verschiedene rechnungszweckspezifische Mandanten verwaltet werden können. Dadurch ist es mit SiSCA möglich, nicht nur Ist-Leistungs-Kostenrechnungen, sondern bei entsprechender Datengrundlage auch Plankostenrechnungen beispielsweise in Form von Soll-Ist-Vergleichen durchzuführen.

Hinsichtlich der Art der Bewegungsdatenerfassung wird zwischen manuell und mit Hilfe der mobilen Prozesstechnik automatisch über Sensoren erfassten Prozessdaten unterschieden, die durch ein stationäres Geo-Informationssystem aufbereitet werden und in der gesamtbetrieblichen Datenbank abgelegt sind. Die Erfassung von Prozessdaten wird getrennt nach den Teilarbeitsprozessen "Rüstarbeit", "Transportarbeit" und "Feldarbeit" vorgenommen. Die nach wie vor wichtige manuelle Erfassung von produktionswirtschaftlichen Vorgängen erfolgt mit Hilfe von Arbeitszetteln, welche von den einzelnen auf dem Versuchsbetrieb Beschäftig-

ten täglich ausgefüllt werden. Ferner werden auch einige aus der Finanzbuchhaltung abgeleitete sowie kalkulatorische Leistungen und Kosten erfasst.

Kostenrechnerisch relevante automatisch erfasste mobile Prozesstechnikdaten werden in SiSCA mit Hilfe einer zwischen der gesamtbetrieblichen Datenbank (TP6) und der Leistungs-Kostenrechnung entwickelten Schnittstellendatei (Microsoft® Excel, CSV-Format) integriert, in der die für einen Datensatz der Grundrechnung notwendigen Informationen hinsichtlich Datum, Prozess, Kostenstelle, Kostenart (incl. der Hilfskostenstellenleistungen) sowie der jeweiligen (teilflächenspezifischen) Mengenverbräuche und Erzeugungen enthalten sind. Der Kostenträger wird über den Produktionsplan, der in Form eines Fruchtfolgeplans die verschiedenen zeitlichen Zuordnungen zwischen Hauptkostenstellen und Kostenträgern abbildet, in SiSCA ergänzt. Die zu importierenden Daten der mobilen Prozesstechnik können vor ihrer eigentlichen Integration in die Mandantendatenbank über eine programminterne OLE-Verbindung zu Microsoft® Excel in SiSCA gegebenenfalls noch bearbeitet werden.

Im Zusammenhang mit einer kleinräumigen Bewirtschaftung und der Verarbeitung diesbezüglicher Daten im Leistungs-Kostenrechnungsmodell SiSCA wird hinsichtlich der zu erfassenden Kostenarten zwischen den Variablentypen der Mehrfach- und Einfachvariablen für eine Schlagkostenstelle unterschieden (Abb. 3.4.6). Bei Mehrfachvariablen werden den einzelnen Unterkostenstellen (UKS) einer Schlagkostenstelle unterschiedliche Werte zugewiesen, es handelt sich folglich um die teilflächenspezifisch zu erfassen. Das sind in der für den Versuchsbetrieb Dürnast aufgebauten Leistungs-Kostenrechnung die Aufwandsmengen des ausgebrachten N-Düngers sowie die Ernteleistungen.

Dagegen werden Leistungs- oder Kostenarten, die eine einheitliche Ausprägung für den gesamten Schlag aufweisen, weil sie sich nur der gesamten Schlagkostenstelle und nicht einzelnen Unterkostenstellen ursächlich zuordnen lassen, als Einfachvariable aufgefasst. Dazu gehören in der für den Beispielbetrieb aufgebauten Leistungs-Kostenrechnung die Maschinen- und Arbeitskosten sowie die Kosten für die übrigen Produktionsmittelverbräuche. Felddaten der mobilen Prozesstechnik werden im Fall von Mehrfachvariablen somit auf der Ebene der Unterkostenstellen und im Fall von Einfachvariablen auf der Ebene der Schlagkostenstelle in der Grundrechnung erfasst.

Mit dieser Schnittstellendatei können neben den Bewegungsdaten auch einmalig die für die Leistungs-Kostenrechnung wichtigen teilflächenspezifischen Stammdaten – die Nummerncodes der Unterkostenstellen und deren jeweiligen Flächengrößen – in die jeweilige Mandantendatenbank integriert werden. Die einzelnen Unterkostenstellen einer Schlagkostenstelle stellen bei einer teilflächenspezifischen Betrachtung auf Rasterbasis die kleinste räumliche Erfassungseinheit für Leistungs- und Kostengrößen auf Schlagebene dar.

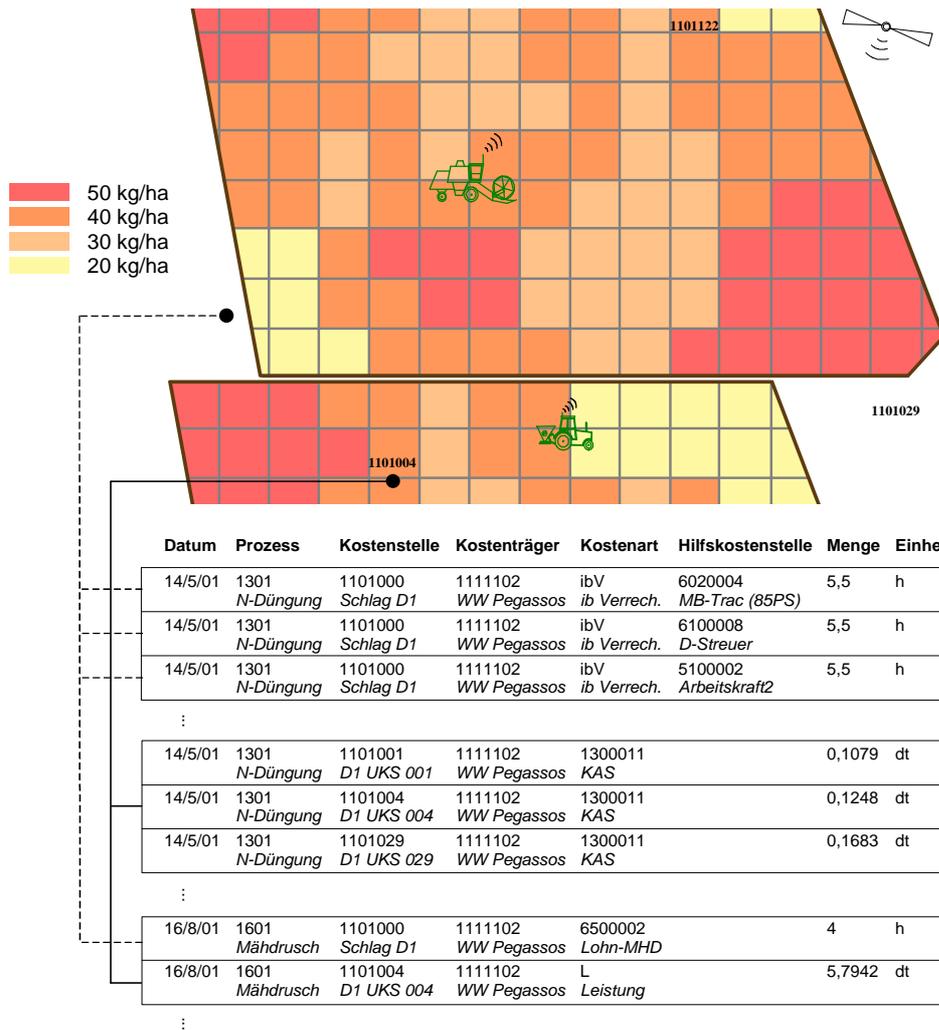


Abbildung 3.4.6: Schlagbezogene Bewegungsdaten als Einfach- (gestrichelte Linie) und Mehrfachvariable (durchgezogene Linie)

SiSCA ermöglicht die Generierung unterschiedlicher Standardauswertungen für Kostenstellen, Kostenträger, Kostenarten und den Gesamtbetrieb. Bereits diese Standardauswertungen können vom Benutzer durch zahlreiche Filter und Auswertungseinschränkungen jedoch auch sehr individuellen Fragestellungen angepasst werden. So können Teilkostenrechnungen in unterschiedlicher Verrechnungstiefe bis hin zu Vollkostenrechnungen durchgeführt werden. Dabei wurden bei der Gestaltung des Modells SiSCA bewusst keine vom Programm fixierte Deckungsbeitragsstufen definiert. Über eine weitere OLE-Verbindung zu Microsoft® Excel können diese – bereits Ergebnis situationsbezogener Anforderungen – erzeugten Standardauswertungen nach Excel® exportiert werden, wo sie weiteren individuellen Fragestellungen angepasst, aber auch nur gespeichert oder gedruckt werden können.

Die in SiSCA integrierte Beständeverwaltung ermöglicht es, für einzelne Materialarten, die sowohl Kostenarten als auch Kostenträger sein können, Bestandskonten zu definieren. Dadurch können für diese Materialarten neben den Verbräuchen und Erzeugungen auch Zu- und Verkaufsvorgänge, die mit dem Kernbereich einer Leistungs-Kostenrechnung nicht in unmittelbarem Zusammenhang stehen, abgebildet und damit jederzeit eine Bestandskontrol-

le durchgeführt werden. Über Bestandskonten, die sowohl aus einer Kostenart als auch einem Kostenträger bestehen, kann für innerbetrieblich erzeugte und wieder eingesetzte Güter der Übergang zwischen verschiedenen Betriebszweigen dargestellt werden. Dadurch eignet sich das Modell SiSCA insbesondere für eine Profit-Center orientierte Leistungs- und Kostenverrechnung von Hauptkostenstellen. Die Bewertung des jeweiligen Kostenträgers des abgebenden Betriebszweiges bzw. der diesem Kostenträger entsprechenden Kostenart des empfangenden Betriebszweiges kann dabei entweder zu den jeweiligen Verrechnungspreisen aus den Kostenplänen oder anhand der über die Beständeverwaltung bei Zu- und Verkaufsvorgängen zu dieser Materialart festgehaltenen Marktpreise erfolgen. Bei einer Bewertung mit den durch die Beständeverwaltung erfassten Marktpreisen werden der Kostenträger des abgebenden und die Kostenart des empfangenden Betriebszweiges mit dem gleichen Preis bewertet, wohingegen bei einer Bewertung über Verrechnungspreise sehr wohl unterschiedliche Preise für ein und dieselbe Materialart herangezogen werden.

Im Mittelpunkt der SiSCA-Auswertungen stehen aufgrund der Ausrichtung des Modells auf die kostenrechnerische Verarbeitung von kleinräumigen Prozessdaten die mit dem Programm zu erzeugenden teilflächenspezifischen Auswertungen. Im einfachsten Fall ist dies die Gegenüberstellung von Leistungs- und Kostendaten auf der Erfassungsebene der Unterkostenstellen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen können die einzelnen Unterkostenstellen auf der Basis einer bestimmten Kostenart oder einer bestimmten Leistungs-Kostendifferenz, beispielsweise der N-Düngerkosten-freien-Leistung, zu Teilschlagklassen bzw. Managementeinheiten zusammengefasst werden (Abb. 3.4.7). Teilflächenspezifisch erfasste Leistungen und Kosten können auch auf der Schlagebene aggregiert ausgewertet werden.

Die Ergebnisse für den Schlag D1 im Jahr 2001, für den erstmals eine automatisierte Integration von mobilen Prozesstechnikdaten einer Düngungsmaßnahme und der Ernte in die Leistungs-Kostenrechnung mit dem Programm SiSCA durchgeführt werden konnte, haben gezeigt, wie mit SiSCA Bereiche des Schlages identifiziert werden können, an denen die Produktionsschwelle nicht erreicht wird und damit eine langfristige Bewirtschaftung ökonomisch nicht sinnvoll ist.

Neben der Durchführung einer teilflächenspezifischen Leistungs-Kostenrechnung auf verschiedenen Aggregationsstufen und Verrechnungstiefen kann mit SiSCA über die Definition zusätzlicher Eigenschaften für die verschiedenen Unterkostenstellen im Verzeichnis teilflächenspezifisch bewirtschafteter Flächen auch eine ökonomische Beurteilung einer teilflächenspezifischen gegenüber einer einheitlichen Bewirtschaftungsweise vorgenommen werden. Die einzelnen Unterkostenstellen werden dann über diese zusätzliche Eigenschaft einer bestimmten Verfahrensvariante zugeordnet, wodurch variantenspezifische Unterkostenstellenauswertungen ermöglicht werden.

	Einheit	TSK1	TSK2	TSK3	TSK4	TSK5	TSK6
<b>Anzahl der UKS</b>	[Stk.]	4	9	92	18	22	25
<b>Gesamtfläche der UKS</b>	[ha]	0,3542	0,7970	7,6336	1,5283	1,9743	2,2870
<b>Flächenanteil</b>	[%]	2,43	5,47	52,38	10,49	13,55	15,69
<b>TSK-Grenzen<sup>1)</sup></b>	[€]	600	750	800	850	900	1100
<b>Preis je dt Winterweizen</b>	[€]	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
<b>Preis je dt KAS</b>	[€]	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
<b>Ergebnisse für die TSK</b>							
<b>N-Düngerkosten-freie-Leistung<sup>2) 3)</sup></b>	[€]	171,83	552,23	5.937,73	1.263,76	1.732,19	2.118,26
<b>Variable Kosten<sup>3)</sup></b>							
<b>Kosten sonst. Produktionsmittel</b>	[€]	99,66	224,26	2147,91	430,03	555,52	643,51
<b>Arbeitskosten</b>	[€]	2,98	6,70	64,1615	12,85	16,59	19,22
<b>Maschinenkosten</b>	[€]	33,21	74,72	715,696	143,29	185,10	214,42
<b>Lohnarbeit</b>	[€]	35,79	80,52	771,248	154,41	199,47	231,06
<b>Zinskosten für Umlaufkapital</b>	[€]	2,71	6,10	58,38	11,69	15,10	17,49
<b>Leistung / variable Kosten</b>	[€]	-2,51	159,93	2.180,33	511,50	760,40	992,56
<b>Ergebnisse für ein ha</b>							
<b>N-Düngerkosten-freie-Leistung<sup>2) 3)</sup></b>	[€]	485,12	692,89	777,84	826,90	877,37	926,22
<b>Variable Kosten<sup>3)</sup></b>							
<b>Kosten sonst. Produktionsmittel</b>	[€]	281,38	281,38	281,38	281,38	281,38	281,38
<b>Arbeitskosten</b>	[€]	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41
<b>Maschinenkosten</b>	[€]	93,76	93,76	93,76	93,76	93,76	93,76
<b>Lohnarbeit</b>	[€]	101,03	101,03	101,03	101,03	101,03	101,03
<b>Zinskosten für Umlaufkapital</b>	[€]	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65	7,65
<b>Leistung / variable Kosten</b>	[€]	<b>-7,10</b>	<b>200,67</b>	<b>285,62</b>	<b>334,68</b>	<b>385,15</b>	<b>434,00</b>

<sup>1)</sup> Gebildet auf der Basis der N-Düngerkosten-freien-Leistung je Hektrar (siehe auch <sup>2)</sup>)

<sup>2)</sup> Leistung ohne Ausgleichszahlung; Teilflächenspezifisch erfasste Düngerkosten

<sup>3)</sup> Der Schlagkostenstelle direkt zugerechnete Leistungen und Kosten

Abbildung 3.4.7: Ökonomischer Vergleich von 6 Teilschlagklassen (Basis: N-Düngerkosten-freie-Leistung)

Neben diesen einzelbetrieblichen Anwendungsfeldern kleinräumig erfasster Leistungs- und Kostengrößen wird über diese zusätzlichen Unterkostenstelleneigenschaften auch die Umsetzung einer Virtuellen Flurbereinigung möglich. Durch SiSCA wird damit nicht nur eine teilflächenspezifische Beurteilung einer standortorientierten Gewannebewirtschaftung, sondern vielmehr auch eine individuelle, besitzorientierte Abrechnung für die verschiedenen Bewirtschafter des Gewanns ermöglicht, was eine wesentliche Voraussetzung für die Verwirklichung einer Gewannebewirtschaftung darstellt.

Bei der für den Testbetrieb anhand des Modells SiSCA aufgebauten Leistungs-Kostenrechnung handelt es sich nicht um die mit Hilfe des Modells durchzuführende Leistungs-Kostenrechnung, sondern vielmehr um ein Beispiel für den Einsatz von SiSCA. Dabei wurde SiSCA hinsichtlich der Kontenanlage, der Buchungen in der Grundrechnung und der Gestaltung der Auswertungen so konzipiert und programmiert, dass der Anwender nicht auf ein bestimmtes Leistungs-Kostenrechnungssystem fixiert ist. Dadurch wird vom

Anwender jedoch nach wie vor eine gewisse "Fertigkeit" im Umgang mit dem Instrument der Leistungs-Kostenrechnung abverlangt.

### 3.4.3 Entscheidungsregeln (TP 12, Dipl.-Kfm. G. Weigert)

Als ein Hemmnis für die Akzeptanz von Precision Farming können Wissensdefizite identifiziert werden: Es existieren bis dato keine Algorithmen zur Umsetzung einer kleinräumigen N-Applikation, die überlegene ökonomische Ergebnisse erwarten lassen. Aus diesem Grund kommt dem Ziel des TP12, der Entwicklung von Entscheidungsregeln, in denen Wissen zur teilflächenspezifischen Düngung abgebildet ist, besondere Bedeutung zu.

Aus der Analyse der derzeitigen Methoden zur Optimierung des kleinräumigen N-Einsatzes ergeben sich mehrere Hinweise für eine Neukonzeption. Zum einen sollten die Entscheidungsregeln auf ein Zielsystem, nämlich auf die Maximierung der teilflächenspezifischen stickstoffkostenfreien Leistung ausgerichtet werden. Weiterhin sollten die Entscheidungsregeln alle zur Verfügung stehenden teilflächenspezifischen Informationen berücksichtigen. Schlussendlich sollten für jede Teilapplikation individuelle Entscheidungsregeln entwickelt werden, um damit die jeweilige Informationslage zu berücksichtigen. Diese Anforderungen sollen mit dieser Arbeit umgesetzt werden.

Aufgrund der Fülle von teilflächenspezifischen Daten, die durch den Einsatz von Precision Farming entstehen, bietet sich zur Analyse die Methode Wissensentdeckung in Datenbanken (WED) an. Diese Methode wurde bis dato nur für Teilfrage im Bereich Precision Farming eingesetzt: Es gilt es daher zuerst, den gesamten Prozess der WED für den Bereich Precision Farming anzupassen und damit erste Erfahrungen zu gewinnen.

Die zur Verfügung stehenden teilflächenspezifischen Attribute setzen sich aus (historischen) Ertragskarten, Zugkraftkarten, Bodenleitfähigkeitskarten (EM38), reflexionsoptische Messungen (Vegetationsindex REIP) und den Stickstoffmengen der Teilapplikationen zusammen.

Die Ausgangsfrage ist in der Untersuchung der Anwendbarkeit der Methode Wissensentdeckung in Datenbanken gesehen werden. Dennoch sollen – sofern als möglich – Wissensbausteine zur Optimierung einer teilflächenspezifischen N-Applikation identifiziert werden.

Zur Anwendung der Methode wurden insgesamt fünf Feldversuche durchgeführt. Zusätzlich wurden zwei Versuche auf dem Lehr- Versuchsgutes der MLU Halle (Versuchsansteller Prof. Dr. Peter Wagner) durchgeführt. Angesichts der komplexen Entscheidungsregeln, die mehrere Informationslagen aus bisher wenig verbreiteten Sensorsystemen gleichzeitig berücksichtigen, wurde auf eine Expertenbefragung verzichtet. Alternativ wurden die Elemente der gefundenen Muster mit aktuellen Ergebnissen der pflanzenbaulichen Forschung verglichen. Die Validierung der Entscheidungsregeln erfolgte darüber hinaus in den jeweiligen Versuchen der Folgejahre.

In allen Bereichen des WED-Prozesses konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Insbesondere zeigte sich, dass eine Anpassung des Versuchsdesign nötig ist, um innerhalb

eines WED-Prozesses Entscheidungsregeln zu generieren. Dies wurde durch die Anlage von N-Steigerungsversuchen erreicht, die in ein On-Farm-Research-Design eingebunden wurden

Die eigentliche Data-Mining-Phase wurde in zwei Modellierungsschritte aufgeteilt. Der erste Schritt besteht in einer teilflächenspezifischen Ertragsprognose mittels neuronalen Netzen, die als Input-Parameter unter anderem die Menge des eingesetzten Stickstoffes verwendet. Der zweite Schritt besteht in der Extraktion von Entscheidungsregeln mit Hilfe von Entscheidungsbaumverfahren. Zu diesem Zweck werden die trainierten neuronalen Netze aus dem ersten Schritt verwendet, um ex-post ökonomisch optimierte N-Mengen für unterschiedliche teilflächenspezifische Verhältnisse zu erzeugen. Diese Vorgehensweise wurde für die jeweiligen Teilapplikationen durchgeführt und für die jeweiligen Versuchsjahre wiederholt.

Die trainierten neuronalen Netze wurden mit Hilfe von Response Surfaces untersucht. Mit dieser dreidimensionalen Graphik kann die Prognose des neuronalen Netzes und damit die antrainierten Wirkungszusammenhänge der N-Applikation und eines teilflächenspezifischen Attributes auf den teilflächenspezifischen Ertrag dargestellt werden. Dadurch können bereits in diesem Schritt erste Muster extrahiert werden.

Weiterhin wurden zur Erzeugung von Entscheidungsregeln Entscheidungsbaumverfahren eingesetzt. In diesen Entscheidungsbäumen sind bereits die ökonomischen Prämissen, d.h. insbesondere die Faktorpreise eingebaut. Damit können auch Rückschlüsse auf die Bedeutung einzelner teilflächenspezifischer Informationen für die Bemessung der N-Applikation gezogen werden. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 3.4.8 dargestellt. Für die Bemessung der N-Applikation spielen zwei teilflächenspezifische Attribute eine Rolle, der Vegetationsindex REIP\_2 sowie der historische Ertrag der Teilfläche des Jahres 2003 (Ertrag\_03). Im Wesentlichen kann daraus abgeleitet werden, dass eine gute N-Versorgung zu entsprechend niedrigeren Applikationen führen sollten und vice versa. Ein hoher historischer Ertrag führt hingegen nach den Entscheidungsregeln zu unterschiedlichen Ergebnissen. In schlecht versorgten Bereichen führen hohe historische Erträge aus ökonomischer Sicht zu niedrigeren N-Gaben und umgekehrt. Andersherum verhält es sich in gut versorgten Beständen (Rechter Ast,  $REIP_2 > 725,38$ ).

Mit diesem Entscheidungsbaum, der auf drei Ebenen beschränkt ist, zeigt sich gleichzeitig die Komplexität der erzeugten Regeln. Das exakte Wissen über die teilflächenspezifischen Zusammenhänge ist in den neuronalen Netzen bzw. in komplexen Entscheidungsbäumen abgebildet und lässt sich nur schwer auf einzelne Bausteine komprimieren. Es zeigen sich dennoch folgende stabile (Grob-)Muster:

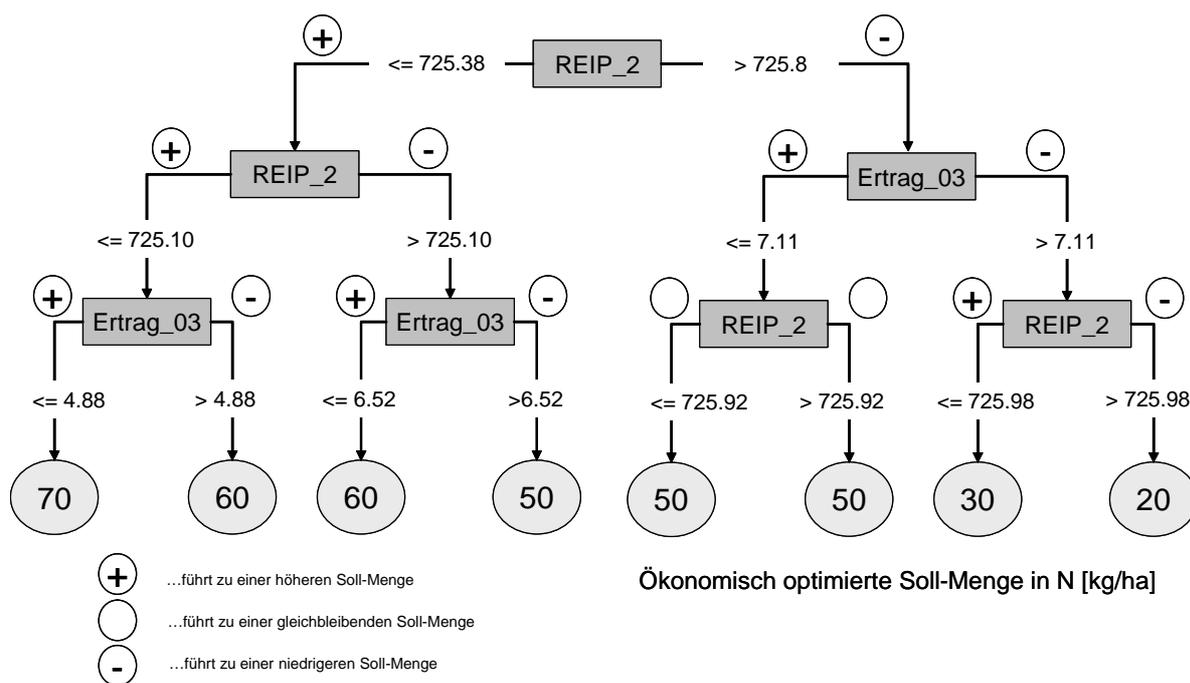


Abbildung 3.4.8: Entscheidungsbaum zur zweiten N-Applikation (Versuch Görzig 04)

### 3.4.3.1 Bedeutung der teilflächenspezifischen Informationen

Es deutet sich an, dass über die Kombination mehrerer teilflächenspezifischer Attribute ein entscheidender Vorteil zur ökonomischen Optimierung erreicht werden kann. In dieser Arbeit stellte sich kein Attribut heraus, dass per se unwichtig für die Bemessung der N-Gabe ist. Es existieren allerdings bezüglich des Standortes und der Teilapplikation große Unterschiede bezüglich der Bedeutung der jeweiligen Attribute.

### 3.4.3.2 Optimierung der Teilapplikationen

Als weiteres Muster sich mit dieser Arbeit an, dass die Optimierung der Teilapplikationen auf Basis der maximal verfügbaren Informationen einen entscheidenden ökonomischen Vorteil bringt. Dies leitet sich aus folgenden Indizien ab:

- Die Ertragswirkung und die damit verbundenen ökonomischen Effekte der Stickstoff-Applikation sind in den einzelnen Teilgaben nicht konstant. Die beiden ersten N-Gaben haben in der Regel eine vergleichsweise hohe Bedeutung für den Ertrag, die dritte N-Applikation besitzt demgegenüber lediglich eine geringe Bedeutung.
- In den einzelnen Teilapplikationen ändert sich die Bedeutung teilflächenspezifischer Attribute zur Bemessung der N-Gabe. Gleichzeitig ändern sich in einigen Fällen die Wirkungszusammenhänge, wie dies beispielsweise bei historischen Ertragsdaten der Fall ist.
- Die aus der ex post Optimierung (mit Hilfe der trainierten neuronalen Netze) entstehenden durchschnittlichen Stickstoffmengen der Teilapplikationen unterscheiden sich stark.

### 3.4.3.3 Ertragskarten

Ertragskarten spielen für die Optimierung der N-Gabe eine große Rolle, allerdings wirken sich die daraus abgeleiteten Attribute nicht konsistent auf die Bemessung der N-Gabe aus. Ein stabiles Muster kann im Ergebnis als inverser Mapping-Ansatz zur ersten N-Applikation umschrieben werden. Nach diesem Muster sollte in Teilschlägen, auf denen ein vergleichsweise niedriger Ertrag produziert wurde, die erste N-Applikation erhöht werden und umgekehrt. Die Inversion beschränkt sich größtenteils auf die erste N-Gabe. Spätestens zur dritten N-Gabe kehrt sich der Effekt auf  $N_{opt}$  um. Zu dieser Applikation wird überwiegend in Hohertragsbereichen eine höhere N-Gabe appliziert.

### 3.4.2.4 Reflexionsoptische Messungen (REIP)

Der Vegetationsindex REIP liefert entscheidende Anhaltspunkte für die Bemessung einer ökonomisch optimierten N-Gabe in einem konstanten Muster: In Teilflächen mit schlechter N-Versorgung (vergleichsweise niedriger REIP-Wert) erhöht sich die ökonomisch optimale N-Menge und umgekehrt. Allerdings zeigen die Ergebnisse, dass dieses Attribut nicht isoliert von den Bodenattributen zur Entscheidung verwendet werden sollte.

### 3.4.3.5 Bodenleitfähigkeit

Bezüglich der scheinbaren elektrischen Bodenleitfähigkeit kann kein stabiler Zusammenhang ausgemacht werden. Der Einfluss auf die Bemessung der Düngergabe ist in den einzelnen Versuchen unterschiedlich.

### 3.4.3.6 Zugkraft

Das Attribut Zugkraft wurde als neues, bisher nicht näher erforschtes Bodenattribut in die Untersuchung mit einbezogen. Es deutet sich an, dass dieses Attribut einen gewissen Einfluss auf die Bemessung der teilflächenspezifischen N-Applikation, vor allem zur ersten und zweiten Teilapplikation besitzt. Die Wirkungsweise hängt allerdings stark von den weiteren teilflächenspezifischen Informationen ab.

Nach dem erstellten Konzept WED für Precision Farming sollten die trainierten Neuronale Netze bzw. die Entscheidungsregeln im darauf folgenden Versuch eingesetzt werden, um eine Validierung bzw. Verifikation anzustreben. Dies gelang aufgrund der schrittweisen Anpassung des Versuchsdesigns erst im letzten Versuchsjahr, auf dem Versuch „Görzig 05“. Es zeigten sich hohe ökonomische Vorteile gegenüber Vergleichsvarianten (schlageinheitliche Düngung und Sensordüngung). Für statistisch abgesicherte Aussagen muss dieser Versuch allerdings mehrmalig wiederholt werden.

Es kann somit zusammenfassend gezeigt werden, dass mit der Methode WED Muster identifiziert werden, die im pflanzenbaulichen Kontext Sinn ergeben. Damit kann die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Ansatzes bestätigt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit, v. a. der angepasste Prozess der Wissensentdeckung in Datenbanken für Precision Farming kann für alle Arten der teilflächenspezifischen Betriebsmiteloptimierung eingesetzt werden. Eine entsprechende Weiterentwicklung des Versuchsdesigns und der Präzision der Datenerfassung und Applikation kann zu weiteren Verbesserungen führen. Für die teilflächenspezifische Stickstoffausbringung gilt es, die gefundenen Entscheidungsregeln mehrjährig zu testen, um damit abgesicherte Aussagen zu erhalten.

#### 3.4.4 Umweltwirkung (TP 13, Dipl.-Ing. M. Gandorfer)

Ziel des Teilprojekts 13 ist es, eine Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung von Winterweizen vorzunehmen. Aus den im Projekt „Informationssystem kleinräumige Bestandesführung (IKB)“ durchgeführten Streifenversuchen soll eine ökonomische und ökologische Bewertung der getesteten und erprobten Technologien (Mapping und Mapping- mit Online Overlay-Ansatz) zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung von Winterweizen abgeleitet werden. Vergleichend sollen aus Parzellenversuchen (Stickstoffsteigerungsversuche) vorhandene Potenziale einer variablen Stickstoffdüngung hergeleitet werden. Es soll dazu ein Modell zur Bewertung ökonomischer und umweltrelevanter Auswirkungen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung entwickelt werden, mit dem verschiedene Szenariorechnungen durchgeführt werden können. Dieses Modell soll die zu erwartenden ökonomischen und ökologischen Auswirkungen sowie zukünftige Potenziale von Precision Farming aufzeigen. Anhand von Risikoanalysen werden die langfristigen Effekte der Teilschlagdüngung untersucht. Schließlich sollen Auswirkungen auf die Betriebsstruktur- bzw. organisation, sowie politische Handlungsoptionen zur Verbesserung der Akzeptanz von Precision Farming Technologien abgeleitet werden.

Als wesentliches Ergebnis der Potenzialberechnungen kann festgehalten werden, dass aus ökonomischer Sicht die quadratischen und linear limitationalen Produktionsfunktionen (für den betrachteten Versuchsstandort) geeigneter sind, die Ertragswirkung der Stickstoffdüngung zu modellieren, als ein exponentielles Regressionsmodell. Zwischen dem linear limitationalen bzw. quadratischen Modell kann jedoch keine eindeutige Entscheidung für oder gegen das eine oder andere aufgrund der Residuenanalyse getroffen werden. Die aus den verschiedenen Regressionsmodellen abgeleiteten teilflächenspezifischen optimalen speziellen Intensitäten ( $N_{opt}$ ) der Stickstoffdüngung weisen für den untersuchten Standort eine sehr große Spannweite auf. Sie bewegen sich beispielsweise im Versuchsjahr 2002 zwischen 127 und 198 kg N/ha in der Niedrigertragszone und zwischen 179 und 239 kg N/ha im Hohertragsbereich. Die Analyse der Vertrauensintervalle für die teilflächenspezifischen  $N_{opt}$ s zeigt, dass diese abhängig vom gewählten Regressionsmodell zum einen relativ breit sind und sich zum anderen teilweise in großen Bereichen überschneiden. Die Produktionsfunktionsanalysen legen die Schlussfolgerung nahe, dass es sich bei den linear limitationalen Funktionen

geschätzten  $N_{\text{opts}}$  um die untere Grenze, und bei den mit quadratischen Produktionsfunktionen bestimmten  $N_{\text{opts}}$  um die obere Grenze eines Bereichs handelt, in dem sich das ökonomische Optimum bewegt. Die breiten Vertrauensintervalle sind zum einen auf die Versuchsanstellung zurückzuführen, zum anderen auch auf den grundsätzlich flachen Verlauf der Ertragsfunktionen. Letzterer kann als ein wichtiger Hinweis für die oft hinter den Erwartungen zurückbleibenden Vorteile bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung identifiziert werden.

Die Modellierung ökonomischer Potenziale auf Basis verschiedener teilflächenspezifischer Produktionsfunktionen zeigt für den Versuchsstandort (Sieblerfeld), dass diese innerhalb der beiden untersuchten Jahre schwanken und von ihrer Höhe stark abhängig von der gewählten einheitlichen Referenzdüngung (einheitlich praktiziertes Intensitätsniveau) sowie vom zugrunde gelegten Verlauf der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen sind. Die mögliche Steigerung der stickstoffkostenfreien Leistung durch eine ökonomisch optimierte teilflächenspezifische N-Düngung bei Winterweizen reicht dabei von 0 bis 62 €/ha.

Die Potenzialberechnungen zeigen weiterhin, dass eine ökonomisch optimierte teilflächenspezifische Stickstoffdüngung speziell in der auswaschungsgefährdeten Niedrigertragszone des Versuchsschlages Sieblerfeld teilweise zu einer wesentlichen Reduzierung der Stickstoffbilanzüberschüsse führen kann. Hierbei hängt das Ausmaß der Reduzierung stark von der gewählten einheitlichen Referenzdüngung sowie von der Annahme über den Verlauf der Produktionsfunktionen ab. In der Hohertragszone des Versuchsfeldes kann eine ökonomisch optimierte teilflächenspezifische Stickstoffdüngung jedoch auch dazu führen, dass höhere Stickstoffgaben ausgebracht werden als bei einheitlicher betriebsüblicher Düngung. Die Modellkalkulationen zeigen dann auch höhere Stickstoffbilanzsalden bei teilflächenspezifisch optimierter N-Düngung als bei einheitlicher Bewirtschaftung. Die N-Bilanzsalden bei teilflächenspezifisch optimierter N-Düngung befinden sich im Hohertrag bei den in dieser Arbeit angestellten Modellrechnungen noch überwiegend im negativen Bereich und sind somit aus Umweltgesichtspunkten unkritisch.

Sensitivitätsanalysen für die ermittelten Potenziale zeigen, dass geringere positive wie auch negative Abweichungen von den teilflächenspezifischen optimalen speziellen Intensitäten nur mäßige ökonomische Konsequenzen nach sich ziehen. Da die ökonomischen Vorteile durch teilflächenspezifische Stickstoffdüngung in vielen Fällen jedoch insgesamt begrenzt sind, können Abweichungen aus Sicht der Teilflächenbewirtschaftung nur in sehr geringem Maße toleriert werden, damit sie vorteilhaft im Vergleich zur einheitlichen Düngung bleibt.

Die Auswertung von drei Feldversuchen, in denen einheitliche und teilflächenspezifische Stickstoffdüngesysteme untersucht wurden, bestätigt insgesamt das gewonnene Bild aus den dargestellten Potenzialberechnungen sowie der Literaturanalyse. Die ökonomischen Vorteile durch teilflächenspezifische Stickstoffdüngung von Winterweizen bewegen sich dabei beim Mapping- mit Online Overlay-Ansatz von +2 €/ha bis zu +32 €/ha (inkl. der monetären Bewertung des höheren Proteingehalts durch Teilflächenbewirtschaftung) und beim

Mapping-Ansatz zwischen -10 €/ha und +11 €/ha. Die Stickstoffbilanzsalden der untersuchten Düngesysteme unterscheiden sich jedoch kaum. *Die hier dargestellten Ergebnisse der Feldversuche müssen dabei als Zwischenevaluierung betrachtet werden, da sich die untersuchten Düngealgorithmen derzeit noch in der Entwicklungs- und Testphase befinden.* Da Streifenversuche, in denen Teilschlagtechnologien untersucht werden, zwangsläufig auf heterogenen Versuchsflächen durchgeführt werden, wird zur Auswertung eine Kovarianzanalyse empfohlen. Als Kovariable hat sich bei den hier ausgewerteten Versuchen die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens als geeignet erwiesen, um den durch Bodenheterogenität bedingten Versuchsfehler zu reduzieren. Bei der Interpretation von Ergebnissen aus Streifenversuchen wird als zentrales Ergebnis eine Bewertungsmethodik abgeleitet, die auf der zusätzlichen Analyse von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen beruht. Die vorgeschlagene Bewertungsmethodik erlaubt es, zwischen verschiedenen Effekten, die auf das Bewertungsergebnis wirken (wie z.B. der Standortheterogenität oder der Güte des Düngealgorithmus) zu unterscheiden (vgl. dazu auch Weigert et al. 2004).

#### 3.4.4.1 Break-Even-Analysen

Die Analyse des Investitionsbedarfs für verschiedenen Ansätze zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung sowie weiterführende Wirtschaftlichkeitsrechnungen zeigen, dass sich bei einer hohen Flächenauslastung von 1000 ha die jährlichen Kosten der Investition in verschiedene Ansätze zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung im Bereich von ca. 5 €/ha für einen Mapping-Ansatz bis ca. 9 €/ha für einen Mapping mit Online Overlay-Ansatz bewegen. Ausgehend von einer Steigerung des Naturalertrags bei Teilschlagdüngung von 1 dt/ha (Winterweizen) und einem Winterweizenpreis von 11 €/dt würde der Break-Even für einen Mapping- mit Online Overlay-Ansatz bei ca. 800 ha liegen.

#### 3.4.4.2 Risikoanalysen

Mit Risikoanalysen werden langfristige ökonomische sowie umweltrelevante Auswirkungen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung im Vergleich zur einheitlichen Düngung untersucht. Die Risikoanalysen werden dabei mit Hilfe der Kriterien der stochastischen Dominanz durchgeführt. Modellergebnisse zeigen, dass das ökonomische Risiko durch die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung nur geringfügig verringert werden kann. Aus Umweltgesichtspunkten kann festgestellt werden, dass die N-Salden im Mittel der Jahre bei teilflächenspezifischer N-Düngung niedriger sind als bei einheitlicher Düngung. Dies gilt für den Fall, dass die ex post bestimmte optimale spezielle Intensität ex ante mit Precision Farming erreicht werden kann. Zudem kann gezeigt werden, dass die N-Salden bei Teilflächenbewirtschaftung eine wesentlich geringere Streuung aufweisen. Wird als Umweltrestriktion eine Reduzierung der N-Düngung um 20% gefordert, so verdeutlichen die Modellkalkulationen, dass bei einheitlicher Düngung in einzelnen Jahren immer noch hohe umweltbelastende N-Bilanzsalden auftreten. Durch die geringere Streuung der N-Bilanzsalden bei teilflächenspezifischer Düngung gelingt es dagegen, durch eine reduzierte N-Düngung das System exakter

auf maximal tolerierbare Stickstoffbilanzüberschüsse „einzustellen“ (vgl. Gandorfer und Heißenhuber, 2005<sup>1</sup>)

#### 3.4.4.3 Auswirkungen des Precision Farming- Einsatzes auf die Betriebsstruktur und Organisation

Eine Analyse möglicher zukünftiger Entwicklungen durch den Einsatz von Precision Farming Technologien auf die Betriebsstruktur sowie auf mögliche Kosteneinsparungen im Bereich der Betriebsmittelbereitstellung ergibt folgendes Bild: Die überbetriebliche Einführung von Precision Farming Technologien kann dazu führen, dass pflanzenbauliches Wissen der Landwirte partiell durch Sensoren und Algorithmen ersetzt wird. Die Entscheidungsautonomie des Landwirtes kann dadurch eingeschränkt werden. In großstrukturierten Agrarlandschaften ist der betriebliche Einsatz von PF Technologien wahrscheinlicher und führt dazu, dass auf dem Betrieb entsprechend gut qualifizierte Arbeitskräfte benötigt werden, die die anspruchsvollen Maschinen bedienen können. Durch Precision Farming Technologien wird es zukünftig möglich sein, betriebliche Entscheidungen durch eigene auf On-Farm-Research beruhende Informationen zu stützen. Der Einsatz von Precision Farming Technologien bringt grundsätzlich die Möglichkeit mit sich, den Produktionsprozess zu dokumentieren und kann langfristig zur gläsernen Produktion führen. Um dies zu erreichen, müssen aber zuerst Konzepte (Datenmanagement- und Auswertung) entwickelt werden, welche die „Datenflut“ kanalisieren und verdichten.

#### 3.4.4.4 Politische Handlungsoptionen zur Verbesserung der Akzeptanz von Precision- Farming- Technologien

Mögliche politische Handlungsoptionen, die langfristig die Akzeptanz von Precision Farming Technologien verbessern können sind beispielsweise eine Honorierung der Dokumentation, einheitliche Standards bei Software und Technik sowie weitere Forschungsförderung, speziell zur Verbesserung der Entscheidungsregeln zur teilflächenspezifischen Applikation von Betriebsmitteln.

#### 3.4.5 Schlussfolgerungen

Die Ziele der Projekte wurden einerseits erreicht. Andererseits zeigt sich deutlich, dass abschließende Antworten vielfach nicht gegeben werden konnten. Dies gilt insbesondere für TP12 (Entscheidungsregeln) und TP13 (Umweltwirkung). Daraus leitet sich direkt weiterer Forschungsbedarf ab.

Gerade TP13 zeigte, wie sehr die Aussagen zur Ökonomie und zur Umweltwirkung von den zu Grunde gelegten Entscheidungsregeln beeinflusst werden. Für Precision Farming nutzba-

---

<sup>1</sup> Die Arbeit zu diesem Aspekt wurde mit dem Posterpreis der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (GEWISOLA) auf der Jahrestagung 2004 ausgezeichnet.

re Entscheidungsregeln müssen automatisierbar sein und von Informationen geleitet werden, die kostengünstig (und damit vor allem automatisch über Sensoren) zu erfassen sind. Die Entscheidungsregeln in TP12 wurden erstmals auf dieser Basis entwickelt. Die Ergebnisse sind nicht nur ermutigend, sondern durchaus als bahnbrechend zu bezeichnen; diese Aussage gilt sowohl im nationalen als auch internationalen Kontext. Die Ergebnisse sind allerdings bisher nur auf einem Standort und in einer Vegetationsperiode validiert worden. Weitergehende Arbeiten müssen sich mit der Verbesserung des Versuchsdesign befassen und der Generierung und Überprüfung von Entscheidungsregeln auch auf anderen Standorten. Weiterhin ist die Frage nach der Übertragbarkeit gefundener Entscheidungsregeln eines Standortes auf einen andern nicht beantwortet. Die entwickelte Methodik zur Generierung von Entscheidungsregeln ist nicht nur auf die Stickstoffdüngung anwendbar; auch alle weiteren von Precision Farming tangierten pflanzenbaulichen Aktivitäten (z.B. Aussaat, Fungizid- und Wachstumsreglereinsatz oder Grunddüngung) sind durch die entwickelte Methodik erschließbar!

Die Generierung von Entscheidungsregeln setzt ein adäquates Informationsmanagement voraus, die Grundlagen dazu wurden in TP6 (Informationsmanagement) gelegt. Liegen Entscheidungsregeln guter Qualität vor, d.h., dass die ex ante zu treffenden Entscheidungen nahe an die ex post optimalen Entscheidungen heran reichen, kann auch die Bewertung von Precision Farming aussagekräftiger ausfallen als bisher. Die in TP13 entwickelten Ansätze sind dabei in jedem Fall Nutzen stiftend einsetzbar.

Wie eine Überprüfung der Wirtschaftlichkeit auf dem einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb erfolgen kann, hat TP7 gezeigt. Die hier entwickelte Software besticht durch ihre klare, kosten-theoretisch geleitete Konzeption und ist, entsprechende Automatisierung der Datenerfassung voraus gesetzt, durch die offen gelegten Schnittstellen prinzipiell einsetzbar. Durch automatische Datenübernahme von teilflächenspezifischen Daten, die ihrerseits wiederum automatisch über Sensoren erhoben werden, gestattet, einerseits eine jede Teilfläche gesondert auf Wirtschaftlichkeit zu überprüfen, andererseits aber auch wirtschaftliche Aussagen für den gesamten Schlag zu treffen. Zusätzlich kann die entwickelte Kosten-Leistungsrechnung auch für die ökonomische Auswertung von auf dem Betrieb vorgenommenen Versuchen verwendet werden. So kann etwa verglichen werden, ob eine Precision-Farming-Düngevariante eine ökonomische Vorzüglichkeit gegenüber einer einheitlichen Düngung - wie sie bisher üblich war - besitzt.

Die Arbeiten in TP13 zeigen die enorme Abhängigkeit der Ergebnisse von dem unterstellten Typ der Produktionsfunktion. Auch dieses Problem ist bei Weitem nicht abschließend geklärt. Viel mehr deutet sich gerade durch den Einsatz von Precision Farming Technologien an, dass eine erneute Überprüfung des bisher favorisierten Funktionsverlaufs (i.d.R. Polynom 2.Grades) notwendig geworden ist. Immerhin konnte in TP13 heraus gearbeitet werden, dass auch andere Funktionsverläufe kein schlechteres Bestimmtheitsmaß zeigen als die hergebrachten Polynome.

## 4 Einordnung und Diskussion

Dem Sprecher der DFG-Forschergruppe IKB-Dürnast fällt es leicht, nach Abschluss der Arbeiten ein Fazit zu ziehen: Es wurden mit Einschränkungen bei einzelnen Vorhaben und mit einem deutlichen Mehr an Ergebnissen in anderen Vorhaben alle Ziele erreicht und fast termingerecht abgeschlossen.

### 4.1 Projektziele und Projektverlauf

Mit dem Ansatz „Real-time approach with map-overlay (Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung)“ wurde in der Forschergruppe IKB-Dürnast für die umweltfreundliche Stickstoffapplikation ein weltweit neuer Ansatz kreiert und bearbeitet. Mit ihm sollte es möglich sein, vorhandene heterogene Ertragspotentiale optimal auszuschöpfen und gleichzeitig die Umweltbelastung zu minimieren, also Ökonomie und Ökologie im Ackerbau in Einklang zu bringen.

Dass dieses umfassende Ziel nicht von einem Lehrstuhl alleine bearbeitet werden kann, versteht sich von selbst. Mehr denn je handelt es sich bei der Zielsetzung um eine systematische Fragestellung, die auch die Beantwortung im System verlangt und erwartet. Insofern war die gewählte Zusammensetzung der Forschergruppe auch sehr zielgerichtet ausgerichtet worden. Sie kann und darf im Nachhinein als richtig bestätigt werden, wenngleich auch andere Zusammensetzungen denkbar und möglich gewesen wären und damit spezielles Fachwissen noch stärker in die Arbeiten hätte integriert werden können.

Der Projektverlauf entsprach weitgehend der Planung und bedurfte keiner generellen Änderung gegenüber den in den Anträgen aufgezeigten vorgesehenen Arbeitsschritten und Teilzielen. Die erforderliche Zusammenarbeit und Zuarbeit zwischen den Teilprojekten erfolgte termingerecht.

Herauszuheben ist die massive Förderung durch die Technische Universität München und die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau in Weihenstephan einschließlich deren Nachfolgefakultät „Wissenschaftszentrum für Ernährung, Landnutzung und Umwelt“ durch:

- Die finanzielle Unterstützung bei der erforderlichen Grundausstattung für Rechner und das Rechnernetzwerk bei den beteiligten Lehrstühlen und der Versuchsstation Dürnast,
- die Überlassung einer Technikerstelle für die Unterstützung der Forschergruppe bei der finanziellen Abwicklung der Fördermittel der DFG und die Betreuung der umfangreichen elektronischen Geräteausstattung auf der Versuchsstation Dürnast,
- die Unterstützung der Verwaltungsstelle Weihenstephan bei allen personellen Fragestellungen der IKB-Mitarbeiter und der problemlosen Abwicklung der umfangreichen Beschaffungsmaßnahmen und Abrechnungen.

Gesondert muss die aufopferungsvolle Mitarbeit und Hilfestellung des Versuchsstationsleiters und seiner Mitarbeiter erwähnt werden. Sie ermöglichte die termingerechte Umsetzung aller Maßnahmen und ermöglichte auch in Zeiten hohen Arbeitsanfalls eine zuverlässige Versuchsdurchführung und Datengewinnung. Dabei wurden

Sie von der Versuchsstellenleitung in der Verwaltungsstelle Weihestephan massiv unterstützt.

Letztlich soll aber auch das hohe Engagement der im IKB tätigen Wissenschaftler und Techniker herausgestellt werden. Sie entwickelten eine direkte Identifikation zur Forschergruppe, wobei die jeweiligen Doktoranden eine führende und vorbildliche Position einnahmen.

## 4.2 Herausragende Ergebnisse

Aus der Vielzahl der erreichten Ergebnisse fällt es schwer, einige besonders herauszustellen und damit alle anderen in den Hintergrund zu rücken. Zudem dürfen Teilprojekte nicht überproportional hervorgehoben werden und andere dafür unerwähnt bleiben. Unabhängig von diesen mehr demokratischen Regeln sollen deshalb in Absprache mit den Teilprojektleitern und deren Wissen zum jeweiligen Fachgebiet nachfolgende Ergebnisse besonders erwähnt werden:

### ***Boden und Wasser***

- Entwicklung eines **on-farm Tests zur Erfassung des Nitratgehaltes von Böden** vor Ort innert weniger Minuten mit einfachsten Gerätschaften. Dieses Testsystem umfasst die Entwicklung einer einfachen volumetrischen Probeentnahmetechnik und ermöglicht die Vorortsbestimmung des Wassergehalts.
- In Zusammenarbeit mit der Firma Geonics wurde ein Prototyp eines auf elektromagnetischer Induktion beruhenden Geräts entwickelt, das erstmalig **oberflächennahe Messungen der Bodentextur** erlaubt.
- Aufbau einer **automatischen „rain-shelter Anlage“** zur Durchführung von kontrollierten Trockenstressexperimenten. Neuentwicklung einer vierseitigen, hyperspektralen reflexionsbasierten Sensorik im Bereich von 400-1700 nm.
- Mehrjährige Testung und schlepperbasierte Validierung des YARA N-Sensors in Feldversuchen. Ableitung optimaler Spektralindizes. Erstmalige schlepperbasierte spektrale Erfassung des „**Nitrogen Nutrition Index**“.
- Entwicklung und mehrjährige Testung **teilflächenspezifischer Strategien in Feldversuchen**. Identifikation von Stickstoff und Wasser als ertragslimitierende Größen. Die neuentwickelten Strategien erlauben es den Stickstoffaufwand bei vergleichbaren Erträgen zu reduzieren und ermöglichen umweltrelevante Reduktionen von N-Verlusten.

### ***Biomasse***

- Für die Bestimmung der **Reflexions-Verteilungs-Funktion** (bidirectional reflection distribution function, BRDF) wurde ein Messsystem entwickelt und in etwa 200 Messserien eingesetzt. Damit konnte für Winterweizen, Wintergerste, Mais und Raps

der weltweit umfangreichste kongruente Datensatz zur Reflexionsverteilung ackerbaulicher Oberflächen aufgebaut werden.

- Die **BRDF** erlaubt das Abgreifen einer Spektralsignatur für jede Tageszeit und zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Vegetationsperiode. Die Unterscheidung von Hoch- und Niedrigertragsstandorten ist durchgehend möglich.
- Aus den Reflexionsdaten eines manuell getragenen 2-Kanalspektrometers konnten Gleichungen zur Abschätzung des **Stickstoffstatus** wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen zu pflanzenbaulich bedeutenden Entwicklungsstadien abgeleitet werden.
- Aufbauend auf dem N-Status der Pflanze und dem standortspezifischen Ertragspotential wurde für Winterweizen ein **Düngesystem** für die teilflächenspezifische N-Applikation erarbeitet.

### **Prozesstechnik**

- **Open Source Modell** für die mobile elektronische Kommunikation nach DIN 9684 (LBS) und ISO 11783 (ISOBUS). Der weltweit erste wissenschaftliche Ansatz zur einfachen, kostengünstigen und normkonformen elektronischen Kommunikation. Mittlerweile in Teil-Outsourcing für Anwendungen frei verfügbar.
- Vergleichende Analyse der **Messgenauigkeit von 3 Sensoren für die Ertragsermittlung** im Mähdrescher unter standardisierten Bedingungen. Neben Winterweizen wurde Wintergerste, Roggen, Raps und Körnermais untersucht. Alle Ergebnisse flossen in einen ASAE-Standard ein.
- Entwicklung, Installation und 5-jähriger Test eines **automatisierten Systems für die Prozessdatenerfassung** auf Basis LBS und ISOBUS. Weltweit erster wissenschaftlicher Ansatz mit Nachweis der Funktionsfähigkeit und der Funktionssicherheit. Weiterentwicklung zum Web-gestützten Dokumentations- und Analysesystem.
- Weiterentwicklung der Ertragskartierung durch „**paraboloides Butterfly Fitting**“. Ableitung eines Entwurfes für eine ISO-Norm zur Ertragskartierung für die lokale Ertragsermittlung bei Erntearbeiten (Normentwurf in das ISO-Gremien TC23/SC19 eingebracht).
- Weltweit erstmalige theoretische Ableitung eines „**Multi Sensor Data Fusion Prozesses**“ für mobile landtechnische elektronische Kommunikationssysteme. Umsetzung in einer Test-Umgebung auf Basis ISOBUS.

### **Ökonomie und Ökologie**

- Realisierung eines **Informationssystems zur kleinräumigen Bestandesführung** und automatisierten Datenweitergabe vom „Sensor bis zu einer Kostenrechnung“ für teilschlagspezifische Auswertungen.

- Programmierung einer **gesamtbetrieblichen Kostenrechnung**, die über automatisierten Datentransfer auch in der Lage ist, teilschlagspezifische Teil- und Vollkostenrechnungen durchzuführen um die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zeitnah überprüfen zu können.
- Erstmalige Entwicklung und Dokumentation **teilschlagspezifischer Entscheidungsregeln** für die N-Düngung von Winterweizen auf Basis von Sensorinformationen (REIP).
- Entwicklung **automatisiert erstellter Entscheidungsregeln** für die N-Düngung von Winterweizen auf Basis automatisch erfasster Bestands- und Bodeninformationen mit Hilfe Künstlicher Neuronaler Netze und deren Validierung. Dies ist ein absolut zukunftsweisender, weltweit erstmals entwickelter und bahnbrechender Ansatz, der Precision Farming im Bereich der Düngung zum Durchbruch verhelfen kann.
- **Nachweis niedrigerer N-Salden** als positive Umweltwirkung von Precision Farming durch Modellrechnungen und Beschreibung zukünftiger Auswirkungen des Precision Farming Einsatzes auf Betriebsstrukturen und Betriebsorganisation (Die Arbeit zu diesem Aspekt wurde auf der Jahrestagung 2004 der GeWiSoLa mit dem Posterpreis ausgezeichnet).

#### 4.3 Weiterführende Arbeiten

Der Standort Weihenstephan hat mit und durch die DFG-Forscherguppe IKB-Dürnast eine deutliche Aufwertung im Pflanzenbau erreicht. Dessen Ergebnisse sollten jedoch nicht zu einem „befriedigenden Stillstand“ in den laufenden Forschungsarbeiten und in der Lehre führen. Vielmehr sollten nun die neuen Chancen und Herausforderungen ergriffen und zielführend umgesetzt werden:

##### 4.3.1 Forschungsansätze

Allen voran sollten die erreichten Ergebnisse in ein lauffähiges System umgesetzt und in einem mehrjährigen Versuch auf einer Versuchsstation (vorzüglich Dürnast) überwacht, bewertet und gezielt als „Weihenstephaner Leuchtturm“ verbessert werden. Weihenstephan könnte damit zum „Wissenschaftlichen Mekka der umweltschonenden teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung“ werden.

Erforderlich wäre danach die Einbeziehung weiterer Sensoren, wobei dem Bodenwasser und der Bodenfeuchte höchste Priorität zukommt. Auch für diese sollten dann die erforderlichen Entscheidungsalgorithmen erarbeitet, getestet und umgesetzt werden.

Schließlich müssen die Synergien zu anderen Applikationsarbeiten gesucht werden, denn auch dort bestehen gleiche oder ähnliche Abhängigkeiten im Hinblick auf das verfügbare Bodenwasser, die Bodenfeuchte und messbare Pflanzeigenschaften. Auch bietet sich dort der Brückenschlag zum ökologischen Landbau an, denn auch dieser muss sich stärker den

Heterogenitäten in den Feldern zuwenden und benötigt dafür unter Umständen veränderte oder völlig neue Entscheidungsalgorithmen.

Und zudem wäre über die stärkere Loslösung der heute üblichen Düngungsregime mit großen Zeitabständen der Einzelgaben und dafür unsicherer Prognose und Entwicklung des Witterungsverlaufes nachzudenken. Würden nicht autonom arbeitende kleine Düngeroboter voraussagetreu exakt jene Mengen punktgenau ausbringen können, welche nahezu ohne Verluste von der Pflanze vollständig aufgenommen werden könnten? Und würde dann nicht womöglich die sehr viel kleinere Teilfläche bis hin zur Einzelpflanze die Zielfläche sein?

#### 4.3.2 Neuausrichtung der Lehre

Neben diesen forschungsorientierten Ansätzen muss jedoch das Erreichte auch in der Lehre umgesetzt und dort weiterentwickelt werden. Dazu bieten sich mehrere Möglichkeiten an:

Neue Module: Weil in der abgeschlossenen Forschergruppe die teilflächenspezifische Information im Mittelpunkt des Interesses stand, sollte daraus ein neues Modul **„Informationsmanagement im ortsspezifischen Pflanzenbau“** entwickelt werden, wobei die methodischen Fragen in den Mittelpunkt zu stellen wären. Demnach müsste dieser Modul im Masterkurs angeboten werden.

Zusätzlicher Major in einem existenten Master: Mit dem Übergang vom Diplom- zum Bachelor-/Masterstudium können künftig in der Lehre Standortspezifika sehr viel stärker in die Lehre umgesetzt werden, als dies bisher der Fall war. Insofern könnte der Standort Weihenstephan mit einem Major **„Informationsbasierte Landnutzung“** eine herausragende Position erarbeiten und einnehmen.

Summerschool: Diese Form der Wissensvermittlung ist bisher am Standort Weihenstephan nicht, bzw. nur in ersten Anfängen gegeben. Hier könnte ein erster Markstein mit der Thematik **„Stickstoffmanagement im ortsspezifischen Pflanzenbau“** gesetzt werden. Dieser würde auch die Möglichkeit eröffnen, stärker fakultäts- und universitätsübergreifend zu arbeiten und alle bisherig beteiligten Wissenschaftler in die Wissensvermittlung zu integrieren und zugleich einen größeren Teilnehmerkreis zu erschließen.

Graduiertenkolleg: Mit den erarbeiteten Grundlagen sollte parallel zum Graduiertenkolleg 722 (Einsatz von Informationstechniken zur Präzisierung des Pflanzenschutzes) in Bonn eine zweite Säule mit dem Objekt **„Information im optimierten Stickstoffkreislauf“** etabliert werden. Dadurch würde die wissenschaftliche Durchdringung der Teilflächenbewirtschaftung in Deutschland vervollständigt und das „Management von Heterogenitäten im Pflanzenbau“ als umweltentlastende Herausforderung von morgen eine Lücke in der grundlagenorientierten Forschung schließen.

## 5 Publikationen

### 5.1 Publikationen in Fachzeitschriften

Lfd. Nr.	Publikation	TP	Reviewed *)
1	<b>Auernhammer, H. (1998):</b> GPS-Grundlagen und Genauigkeit. In: Jahrbuch Lohnunternehmer 1998, S. 110-120	1, 2	
2	<b>Auernhammer, H. (1999):</b> Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung Dürnast. Landtechnik 54, Nr. 4, S. 214-215	1, 2	
3	<b>Auernhammer, H. (1999):</b> Precision Farming – Lexikon In: Online-Lexikon. Frankfurt: DLG, S. 44-59	1, 2	
4	<b>Auernhammer, H. (1999):</b> Precision Farming for the Site-Specific Fertilization. Zeitschrift für Agrarinformatik 7, H. 3, S. 58-67	1, 2	ja
5	<b>Auernhammer, H. (1999):</b> Precision Farming. In: Ackerbau per Satellit. dlz München, SH 10, S. 6-11	1, 2	
6	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Elektronik intelligent nutzen. Lohnunternehmen 55, H. 10, S. 3	1, 2	
7	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Intelligente Landtechnik für die Landbewirtschaftung: Präzise Daten, umweltschonende Applikation, wirtschaftliche Möglichkeiten. Landmaschinen 37, Wien, Heft 3, S. 10-11	1, 2	
8	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Wohin geht es mit dem BUS-System ? ÜMVjournal, Verlagsbeilage: Das Landvolk, Ausgabe 6. Landbuch Verlag Hannover, S. 16-18	1, 2	
9	<b>Auernhammer, H. (2001):</b> GPS - heute und morgen. In: Wintertagung 2001: EU-Erweiterung - Probleme, Herausforderungen, Chancen. Wien: Ökosoziales Forum Österreich 2001, S. 94-102	1, 2	
10	<b>Auernhammer, H. (2001):</b> Precision Farming - Technische Möglichkeiten im Ackerbau. In: RHG-Gespräche, Magdeburg, 20.11.2001, S. 41-58	1, 2	
11	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> Präzisionslandwirtschaft unter Nutzung moderner Technologien. In: Tagungsband z. Ingenieurtag Sachsen-Anhalt, Magdeburg, S. 81-86	1, 2	
12	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> Precision Farming - Technische Möglichkeiten im Ackerbau. In: RHG-Gespräche "Nachhaltige Landwirtschaft", Hannover: RHG Nord, S. 41-58	1, 2	
13	<b>Auernhammer, H. (2003):</b> The role of mechatronics in product traceability. In: Club of Bologna: Proceedings of the 13th members' meeting (Chicago 27-28 July 2002 and Bologna 16-17 November 2002). Tode (Italy): Litograf 2003, pp. 61-75	8	
14	<b>Auernhammer, H. (2004):</b> Erfolgreiches Datenmanagement auf landwirtschaftlichen Betrieben - Perspektiven. DLG: Kurzfassungen zum Workshop, Frankfurt, S. 19-20	8	
15	<b>Auernhammer, H. (2004):</b> Zur Bedeutung der Dokumentation im landwirtschaftlichen Betrieb. In: 14. Arbeitswissenschaftliches Seminar VDI-MEG-Arbeitskreis Arbeitswissenschaften im Landbau. Tännikon (Schweiz): agroscope 2004, FAT-Schriftenreihe Nr. 62, S. 95-104	8	ja
16	<b>Auernhammer, H. et al. (2001):</b> Forderungen stellen. Agrarmarkt 52, S. 26-31	1, 2	

17	<b>Auernhammer, H., Demmel, M., Spangler, A., Ehrl, M. (2002):</b> Die elektronische Gerätekenkarte IML. Landtechnik 57, H. 1, S. 40-41	2	
18	<b>Auernhammer, H., Neuhauser, H. (2001):</b> Perspektiven und technische Entwicklung in der Verfahrenstechnik Ackerbau und Futterernte. In: Technische Entwicklungen für eine nachhaltige Landwirtschaft in Bayern: 75 Jahre Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Hrsg. Wendl. G.). Weihenstephan:Landtechnik Weihenstephan, Landtechnik-Schrift Nr. 12, S. 111-128	1, 2	
19	<b>Augsburger, C. (2000):</b> Konzept einer Leistungs- und Kostenrechnung in einem Informationssystem zur kleinräumigen Bestandesführung – unter besonderer Berücksichtigung automatisch erfasster Prozessdaten. In: Berichte der GIL, Band 13, Berlin/Weihenstephan, S. 15-18	7	
20	<b>Augsburger, C. (im Druck):</b> Konzept und Realisation einer Schnittstelle für die automatische Integration von mobilen Prozesstechnikdaten in einer Leistungs-Kostenrechnung. In: Berichte der GIL, Band 14	7	
21	<b>Bachmaier, M., Gandorfer, M. (resubmitted):</b> A Confidence Interval for the Optimal Nitrogen Fertilization. Journal of Precision Agriculture	8, 13	ja
22	<b>Ehrl, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2003):</b> Untersuchungen zur Prozessqualität in landwirtschaftlichen Bus-Systemen. In: 13. Arbeitswissenschaftliches Seminar (Hrsg. Bockisch, F.-J., Kleisinger, S.). Landbauforschung Völkenrode, SH 243, S. 69-75	8	
23	<b>Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Heißenhuber, A. (2004):</b> Der Einsatz moderner Informationstechnologien im Pflanzenbau - ein Beispiel aus der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Zeitschrift für Agrarinformatik, Heft 2/ 2004	13	ja
24	<b>Geesing, D., Bachmaier, M., Schmidhalter, U. (2004).</b> Field calibration of a capacitance soil water probe in heterogeneous fields. Australian Journal of Soil Research, 42, 289-299.	4	ja
25	<b>Geesing, D., Schmidhalter, U. (2004):</b> Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat. In: Soil Use and Management 20, pp. 207-209	4	ja
26	<b>Hege, U., Maidl, F.-X., Liebler, J., Offenberger, K. (2000):</b> Düngestrategien für Stickstoff zu Winterweizen: Ein Vergleich von Simulationsmodellen und Düngeberatungssystemen. Pflanzenbauw. 6 (1), S. 25-35	3	
27	<b>Hu, Y., Schmidhalter, U. (2005):</b> Drought and salinity: A comparison of their effects on the mineral nutrition of plants. Journal Plant Nutr. Soil Sci. 168, 541-549.	4	ja
28	<b>Linseisen, H., Spangler, A., Hank, K., Wagner, P., Steinmayr, T., Demmel, M., Auernhammer, H., Manakos, I., Schneider, T., Liebler, J. (2000):</b> Daten, Datenströme und Software in einem Informationssystem zur teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. Zeitschrift für Agrarinformatik 8, H. 2, S. 36-43	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	ja
29	<b>Maidl, F.-X., Liebler, J., Stickse, E. (2001):</b> Bestimmung von Biomasseaufwuchs und Stickstoffstatus von Winterweizen mittels Feldspektroskopie. Mitt. Ges. Pflanzenbauw. 13, S. 224-225	3	
30	<b>Manakos, I., Liebler, J. und T. Schneider:</b> Parcel based calibration of remote sensing data for precision farming purposes (Eichung von Fernerkundungsdaten anhand von Testparzellen für „precision farming“ Anwendungen). Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Salzburg: Wichmann Verlag (Austria), p. 333-334.	5	

31	<b>Manakos, I., Schneider, T., Bekakos, M.P. (2004):</b> A Mobile Unit for Field Spectroradiometric Measurements; Int. Journal of Neural, Parallel and Scientific Computations, Vol. 12, No. 4, pp.525-544, ISSN 1061 5369	5	
32	<b>Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2002):</b> Nutzung von Informationen aus der automatischen Prozessdatenerfassung. Landtechnik 57, H. 3, S. 148-149	2	ja
33	<b>Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2003):</b> Die automatische Prozessdatenerfassung als Grundlage für die Erstellung von Planzeiten. In: 13. Arbeitswissenschaftliches Seminar (Hrsg. Bockisch, F.-J., Kleisinger, S.). Landbauforschung Völknerode, SH 243, S. 5-11	2	ja
34	<b>Schmid, A., Huber, G., Maidl, F.-X. (2002):</b> Feldspektroskopische Messungen zur Erfassung der räumlichen Variabilität des Wachstums von Maisbeständen ( <i>Zea mays</i> L.). Mitt. Ges. Pflanzenbauw. 14, S. 205-206	9	
35	<b>Schmid, A., Huber, G., Maidl, F.-X. (2003):</b> Möglichkeiten der Schätzung des Biomasseaufwuchses von Wintergerste mittels Spektrometer. Mitt. Ges. Pflanzenbauw. 15, S. 280-282	9	
36	<b>Schmid, A., Maidl, F.-X. (2004):</b> Einsatz eines zerstörungsfreien Meßverfahrens zur Bonitur von Biomasse und Stickstoffaufnahme bei Getreide. Mitt. Ges. Pflanzenbauw. 16, S. 181-182	9	
37	<b>Schmidhalter, U. 2005.</b> Development of a quick on-farm test to determine nitrate levels in soil. Journal Plant Nutr. Soil Sci. 168, 423-438.	4	ja
38	<b>Schneider, Th., Manakos, I. (2003):</b> BRDF Approximation of maize and canopy parameter retrieval by ProSail inversion; Procc. of the 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Oberpfaffenhofen, May 13-16; ISBN 2-908885-56-5	5	
39	<b>Schneider, Th., Manakos, I., Ammer, U., Bacour, C. (2002):</b> BRDF approximation from field measurements and surface parameter extraction with ProSail – a module in a precision farming decision support system; poster at the IWMMM-3 workshop, Steamboat Springs, Colorado, USA	5	
40	<b>Schneider, Th., Zimmermann, s., Manakos, I. (2004):</b> Field goniometer system for accompanying directional measurements; Proc. CHRIS/ Proba workshop, 28-30.03.2004 Frascati, Italien, ESA publication	5	
41	<b>Schön, H., Auernhammer, H. (????):</b> Entwicklungsperspektiven des Pflanzenbaues und der Tierhaltung unter dem Einfluss neuer Techniken der Prozesssteuerung und Automatisierung. In: Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V., Vol. 35, S. 325 - 339	1, 2	ja
42	<b>Schön, H., Auernhammer, H. (1999):</b> Neue Techniken der Prozeßsteuerung und Automatisierung im Pflanzenbau und in der Tierhaltung. Agrarwirtschaft 48, H. 3/4, S. 130-140	1, 2	ja
43	<b>Spangler, A., Auernhammer, H., Demmel, M. (2001):</b> LBSlib als Open Source Modell frei verfügbar. Landtechnik 56, H. 3, S. 138-139	2	ja
44	<b>Steinmayr, T. Auernhammer, H., Demmel, M. (1999):</b> Genauigkeitsanalysen zum Einsatz von DGPS bei Feldarbeiten. Landtechnik 54, Nr. 4, S. 212-213	1	ja
45	<b>Steinmayr, T., Auernhammer, H., Demmel, M. (1998):</b> Sieben Jahre Fahrspuranalysen und Ertragskartierung mit ARC/INFO. ESRI ArcAktuell Extra Kundeninfo Nr. 1, S. 4-5	1	

46	<b>Sticksel, E., Maier, S., Liebler, J.; Maidl, F.-X. (2001):</b> Messungen des Tagesganges der sonnenlichtinduzierten Chlorophyll-Fluoreszenz von Nutzpflanzenbeständen. Mitt. Ges. Pflanzenbauw. 13, S. 30-31	3	
47	<b>Sticksel, E., Schächtl, J., Huber, J., Liebler, J., Maidl, F.-X. (2003):</b> Tagesgänge ausgewählter Vegetationsindices in Winterweizen. Mitt. Ges. Pflanzenbauw. 15, S. 75-78	3	
48	<b>Wagner, P. (1999):</b> The Future of Precision Farming - The Development of a Precision Farming Information System and Economic Aspects. In: SCHIEFER, G., HELBIG, R. und RICKERT, U.: Perspectives of modern Information and Communication Systems in Agriculture, Food Production and Environmental Control (Volume B), Bonn, p.461-472	6, 7	
49	<b>Wagner, P. (2002):</b> Precision Farming - Aufgaben und Möglichkeiten aus der Sicht der Betriebswirtschaft. In: Raiffeisen Hauptgenossenschaft Nord AG (Hrsg.): RHG-Gespräche "Nachhaltige Landwirtschaft", Hannover, S. 75-100.	6,7	
50	<b>Wagner, P.; Weigert, G.; Gandorfer, G.; Meyer-Aurich, A. (2005):</b> On-Farm-Research- Eine neue Herausforderung in der Versuchsanstellung. Zeitschrift für Agrarinformatik, Heft 3/2005	12, 13	ja

## 5.2 Kongressbeiträge

Lfd. Nr.	Publikation	TP	Reviewed (*)
1	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Das Landwirtschaftliche BUS-System LBS und die Satellitenortung GPS als Schlüsseltechnologien für die Prozesssteuerung im Pflanzenbau. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan, Weihenstephan, Band 13, S. 6-9	1, 2	
2	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Elektronikeinsatz zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktion und des Managements in der Pflanzenproduktion. In: Elektronikeinsatz in der Landwirtschaft. KTBL/LAV-Vortragstagung am 12.4.2000 in Veitshöchheim, Münster-Hiltrup, KTBL-Schrift 390, S. 51-58	1, 2	
3	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung (IKB-Dürnast). {Japanische Übersetzung by H. Terao} In: Proceedings of the 2nd Sapporo International Symposium 2000: Electronic Farm Communication with LBS. Hokaido (Japan): Hokkaido Branch of JSAM, S. 117-140	1, 2	
4	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung (IKB-Dürnast). In: Proceedings of the 2nd Sapporo International Symposium 2000: Electronic Farm Communication with LBS. Hokaido (Japan): Hokkaido Branch of JSAM, S. 117-140	1, 2	
5	<b>Auernhammer, H. (2000):</b> IT in der Landwirtschaft von morgen - Visionen und erwartete Realitäten. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan, Weihenstephan, Band 13, S. 10-14	1, 2	

6	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> Automatische Betriebsdatenerfassung im Ackerbau und seine Nutzanwendung. In: Landtechnische Jahrestagung 2002 "Ackerbau der Zukunft". Hrsg. G. Wendl Freising, Landtechnik-Schrift Nr. 14, S. 45-58	2	
7	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> Potenziale der automatischen Datenerfassung im landwirtschaftlichen Betrieb. In: Landtechnik für Profis; Mit mehr Wissen Land bewirtschaften. Tagung Magdeburg, 6.2.2002. Düsseldorf: VDI Verlag, VDI-Berichte 1659, S. 31-45	2	
8	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> Traktor-Elektronik für Präzisionslandwirtschaft. Schlepper Trends, Bergen/Damme: Agrimedia GmbH, S. 21-26 (ISBN 3-86037-171-1)	1, 2	
9	<b>Auernhammer, H. (2004):</b> Off-Road Automation Technology in European Agriculture - State of the Art and expected Trends. In: Proceedings of the 7-8 October 2004 International Conference Kyoto, Japan: Automation Technology for Off-Road Equipment 2004. St. Josef: ASAE 2004, pp. 10-23 (ISBN1-892769-45-X)	8	ja
10	<b>Auernhammer, H. (2005):</b> Anforderungen an standardisierte Algorithmen für die Ertragskartierung - Stand und Überlegungen für eine ISO-Norm. In: Mähdrescher. Tagung Hohenheim 17./18.3.2005, Düsseldorf: MEG im VDI, Heft 38, S. 199-206	2	
11	<b>Auernhammer, H., Demmel, M., Maidl, F.X., Schmidhalter, U., Schneider, T., Wagner, P. (1999):</b> An on-farm communication system for precision farming with nitrogen real-time application. ASAE St. Joseph 1999, Paper No. 99 11 50	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	
12	<b>Auernhammer, H., Demmel, M., Spangler, A. (2000):</b> Automatic process data acquisition with GPS and LBS. AgEng Warwick 2000, Warwick (UK), Paper Number 00-IT-005	2	ja
13	<b>Auernhammer, H., Demmel, M., Spangler, A., Trukenbrod, R. (2000):</b> Automatic process data acquisition with GPS and LBS. Abstracts of AgEng Warwick 2000: Agricultural Engineering into the Third Millenium. Silsoe: Silsoe Research Institute 2000, Part 1, pp.267-268	2	ja
14	<b>Auernhammer, H., Demmel, M., Spangler, J. (1999):</b> Betriebsdatendokumentation mit LBS und GPS für Traktor-Gerätekombinationen. In: Tagung Landtechnik 1999. Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 217-221	2	
15	<b>Auernhammer, H., Ostermeier, R., Machado, P.P. (2005):</b> Assessing multisensor data fusion performance of a real-time process control for a sensor based fertilizer application system. In: Book of abstracts 5 ECPA - 2 ECPLF. Uppsala: JTI 2005, pp: 35-36 (ISBN 91-7072-141-6)	8	ja
16	<b>Auernhammer, H., Rothmund, M. (2004):</b> Automated Process Data Acquisition with standardized Communication Systems and its Practical Applications. In: Collection of extent abstracts 2004 CIGR International Conference Beijing. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, Vol. 2, p III-93 (ISBN 7-80167-707-2)	8	ja
17	<b>Augsburger, C. (2001):</b> Concept of a Cost-Accounting System for the Interpretation of Spatially Variable Data. "Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture", Montpellier, (Eds G Grenier and S Blackmore) p. 629-634	7	ja
18	<b>Bachmaier M. (2005):</b> Optimising the Selected Neighbourhood for Yield Mapping by Comparing Plot and Monitor Yield Values. In: Lecture Notes in Informatics. Series of the Gesellschaft für Informatik, Volume P-67, edited by A.B. Cremers, R. Manthey, P. Martini and V. Steinhage, pp. 360-364.	8	

19	<b>Bachmaier M., Auernhammer H. (2004):</b> A Method for Correcting Raw Yield Data by Fitting Paraboloid Cones. Agricultural Engineering Conference (AgEng 2004) --- Engineering the Future, September 12–16, 2004, Leuven (Belgium), in Book of Abstracts, Part 1, pp. 374–375.	8	ja
20	<b>Bachmaier M., Auernhammer H. (2004):</b> A Method for Correcting Raw Yield Data by Fitting Paraboloid Cones. Agricultural Engineering Conference (AgEng 2004) --- Engineering the Future, September 12–16, 2004, Leuven (Belgium), in the proceedings, Session 10: Precision Agriculture, 8 pages on CD-ROM.	8	ja
21	<b>Bachmaier M., Auernhammer H. (2005):</b> Yield Mapping Based on Robust Fitting Paraboloid Cones in Butterfly and Elliptic Neighborhoods. In: Precision Agriculture '05: Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture (5ECPA), 9–12 June 2005, Uppsala (Sweden), edited by J.V. Stafford and A. Werner, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, pp. 741–750	8	ja
22	<b>Bachmaier, M., Auernhammer, H. (2005):</b> Yield mapping based on robust fitting paraboloid cones in butterfly and elliptic neighborhoods. In: Precision Agriculture '05 (Ed. Stafford J.V.).Wageningen Academic Publishers Wageningen, pp. 741-750	8	ja
23	<b>Bachmaier, M., Gandorfer, M. (2004):</b> A Confidence Interval for the Optimal Nitrogen Fertilization. 7th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis	8, 13	ja
24	<b>Demmel, M., Ehrl, M., Rothmund, M., Spangler, A., Auernhammer, H. (2002):</b> Automated Process Data Acquisition with GPS and Standardized Communication - The Basis for Agricultural Production Traceability. ASAE: Meeting Presentation Chicago 2002, Paper No. 023013 (10 p.)	2	
25	<b>Demmel, M., Rothmund, M., Spangler, A., Auernhammer, H. (2001):</b> Algorithms for a data analysis and first results of automatic data acquisition with GPS and LBS on tractor implement combinations. In: Proceedings of the "Third European Conference on Precision Agriculture (Eds.: Grenier, G., Blackmore, S.). agro Montpellier, Vol 1, pp. 13-18	2	ja
26	<b>Demmel, M., Steinmayr, T., Auernhammer, H. (2003):</b> Dynamic behaviour of combine yield measurement systems investigated on a test stand. In: Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF (Eds. Werner, A., Jarfe, A.). Wageningen Academic Publishers Wageningen, p.625 (ISBN 9076998345)	1	ja
27	<b>Demmel, M., Steinmayr, T., Auernhammer, H.(1999):</b> Evaluation of local yield detection on a trailed one-row offset-lifting bunker-hopper potato harvester. In: Precision Agriculture '99. Sheffield: Sheffield Academic Press, Part 2, pp. 877-886	1	ja
28	<b>Ehrl, M., Stempfhuber, W., Auernhammer, H., Demmel, M. (2003):</b> Quality assessment of agricultural positioning and communication systems. In: Precision Agriculture (Eds. Stafford, J., Werner, A.). Wageningen Academic Publishers Wageningen, pp. 205-210 (ISBN 9076998213)	8	ja

29	<b>Gandorfer, M., Bachmaier, M., Meyer-Aurich, A., Heißenhuber, A. (2003):</b> Precision Farming- ein innovativer Ansatz zur Verminderung des ökonomischen und ökologischen Risikos- eine Simulationsstudie. In: Budde, H-J; Müller R, A.E. und U. Birkner (Hrsg.): Referate der 24. GIL - Jahrestagung in Göttingen 2003. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 16, Göttingen, S.36-40	13	
30	<b>Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Heißenhuber, A., (2003):</b> An economic assessment of site-specific and homogenous nitrate fertilization management in consideration of environmental restriction. Poster on 4 ECPA, Berlin. In Werner, A., Jarfe, A.: Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF, 407-408	13	
31	<b>Gandorfer, M., Weigert, G., Amon, H., Sticksel, E., Heißenhuber, A., Wagner, P. (2004):</b> Ökonomische Analyse von Precision Farming Technologien im pflanzenbaulichen Versuchswesen. Referate der 25. GIL - Jahrestagung in Bonn 2004. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 17, Bonn	12, 13	
32	<b>Gandorfer, M.; Heißenhuber, A. (2005):</b> Umweltauflagen gezielt umsetzen und dokumentieren mit Precision Farming. Schriftenreihe der Gesellschaft für Wirtschafts und Sozialwissenschaften des Landbaues. Band 40	13	ja
33	<b>Gandorfer, M.; Meyer-Aurich, A., Heißenhuber, A. (2005):</b> The influence of different types of nitrogen response functions on the estimated economic benefits of site-specific nitrogen fertilization. Book of Abstracts 5 ECPA-2 ECPLF, Uppsala	13	ja
34	<b>Gebbers, R, Lück, E. (2005):</b> Comparison of geoelectrical methods for soil mapping. In: J.V. Stafford (ed). Precision Agriculture '05, 473-479.	10	ja
35	<b>Geesing, D., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2001):</b> Importance of spatial and temporal soil water availability for nitrogen management decisions. 3 <sup>rd</sup> European Conference Precision Agriculture, Montpellier, 659-664.	4	ja
36	<b>Geesing, D., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2003):</b> Development of site-specific nitrogen fertilization strategies for sites with high and low plant available soil water capacity. Program book joint conference ECPA-ECPLF, Berlin, 629.	4	ja
37	<b>Huber, G., Maidl, F.-X, Schmid, A. (2003):</b> Spectroscopic detection of maize canopies as a requirement for variable fertilisation regimes on heterogeneous sites. In: Programme book of the Joint Conference of ECPA-ECPLF, 16.-18. June 2003 in Berlin. Wageningen Academic Publishers. (Eds J.Stafford and A. Werner), p. 439-441	9	ja
38	<b>Kormann, G., Demmel, M., Auernhammer, H. (1998):</b> Entwicklung und Test eines Prüfstandes für Ertragsmeßsysteme auf Mähdreschern. Tagungsband "Landtechnik 1998, Garching" Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Berichte 1449, S. 275-280 (ISBN 3-18-231449-1)	1	
39	<b>Liebler, J., Sticksel E., Maidl, F.-X. (2001):</b> Field spectroscopic measurements to characterise nitrogen status and dry matter production of wheat. In: Proceedings of the 3 <sup>rd</sup> European Conference on Precision Agriculture. Montpellier. (Eds G. Grenier and S Blackmore)) p. 935-940	3	ja
40	<b>Linseisen, H. (2000):</b> Struktur der Datenhaltung und Ausrichtung der Daten auf Fahrgassen als Basis von teilflächenspezifischen Entscheidungsmodellen und Kostenrechnungen im Rahmen eines Informationssystems zur kleinräumigen Bestandesführung. In: Berichte der GIL, Band 13, Berlin/Weihenstephan, S. 115-118	6	

41	<b>Linseisen, H. (2001):</b> Datenaufbereitung in einem Precision Farming Informationssystem. In: Berichte der GIL, Band 14, HRSG.: Kögl, H., J. Spilke und U. Birkner, S.75 - 80	6	
42	<b>Linseisen, H. (2001):</b> Development of a precision farming informations system. Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, (Eds G Grenier and S Blackmore) p. 689-694	6	ja
43	<b>Manakos, I., Schneider, T. und U. Ammer (2000):</b> A comparison between the ISODATA and the eCognition classification methods on basis of field data. IAPRS, Vol. XXXIII, Supplement B7, Amsterdam (Netherlands).	5	
44	<b>Manakos, I., Schneider, T. und U. Ammer (2001):</b> Angular spectroradiometric field medasurements for precision farming purposes. Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture. Montpellier. (Eds G Grenier and S Blackmore) p. 253-258.	5	ja
45	<b>Mistele, B., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2003):</b> Spectral detection of nitrogen status, biomass and yield of field-grown maize plants. Program book joint conference ECPA-ECPLF, Berlin, 497-498.	10	ja
46	<b>Mistele, B., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2004):</b> Validation of field-scaled spectral measurements of the nitrogen status in winter wheat. Proceedings of the 7 <sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture. ICPA, Minneapolis.	10	ja
47	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H. (2004):</b> Real-time process control for a sensor based fertilizer application system by multisensor data fusion. In: AgEng Leuven 2004: Book of abstracts. Leuven, part 1, pp. 312-313 (ISBN 90-76019-258)	8	ja
48	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H. (2004):</b> Real-time process control for a sensor based fertilizer application system using multisensor data fusion AGENG LEUVEN 2004, Engineering the future, Leuven (Belgium), CD-ROM (full papers), Session 10 -Nr. 352-Ostermeier.pdf, p 1-8, ISBN: 90-76019-258	8	ja
49	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H., Demmel, M. (2003):</b> Realisation of an "In-field Controller" for an Agricultural BUS-System based on Open Source program library "LBS-Lib". In: Precision Agriculture (Eds. Stafford, J., Werner, A.). Wageningen Academic Publishers Wageningen, pp. 515-520 (ISBN 9076998213)	8	ja
50	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H., Demmel, M. (2003):</b> Realisation of an "In-field Controller" for an Agricultural BUS-System based on Open Source program library "LBS-Lib". In: Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF (Eds. Werner, A., Jarfe, A.). Wageningen Academic Publishers Wageningen, p.273 (ISBN 9076998345)	8	ja
51	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H., Demmel, M. (2003):</b> Realization of an in-field controller for an Agricultural BUS-system based on open source program library LBS-Lib. In: Programme book of the joint conference of ECPA - ECPLF (Eds. Werner, A., Jarfe, A.). Wageningen Academic Publishers Wageningen, pp. 111-116 (ISBN 9076998345)	8	
52	<b>Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2001):</b> Methoden und Ergebnisse der Datenauswertung bei der Automatischen Prozessdatenerfassung mit LBS, GPS und IMI® auf Traktor-Geräte-Kombinationen. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft: Referate der 22. GIL-Jahrestagung in Rostock 2001. Rostock, Band 14, S. 129-132	2	ja

53	<b>Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2003):</b> Die automatische Prozessdatenerfassung als Grundlage für die Erstellung von Planzeiten. In: 13. Arbeitswissenschaftliches Seminar (Hrsg. Bockisch, F.-J., Kleisinger, S.). Landbauforschung Völkenrode, SH 243, S. 5-11	2	ja
54	<b>Rothmund, M., Demmel, M., Auernhammer, H. (2003):</b> Methods and services of data processing for data logged by automatic process data acquisition systems. In: Proceedings of the XXX CIOSTA-CIGR V Conference: Management and technology applications to empower agriculture and agro-food systems (Ed. Piccarolo, P.). Turin (Italy) September 22 - 24, Vol. 2, pp. 713-721 (ISBN 88-88854-09-6)	2	ja
55	<b>Schmid, A., Maidl, F.-X. (2004):</b> Dynamic biomass formula for the estimation of biomass of selected crops with a hand-held spectrometer. In: 7 <sup>th</sup> Intern. Conf. Prec. Agric. Conf. Abst., 2004, Hytt Regency-Minneapolis-Minnesota-USA, p. 213-214	9	ja
56	<b>Schmid, A., Maidl, F.-X. (2005):</b> Einflußfaktoren auf spektraloptische Reflexionssignaturen zur Bonitur der Biomasse und des Stickstoffstatus von Winterweizen. In: Informatik 2005 - Informatik Live! Band 1, Beitrag der 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Bonn, 19. bis 22. Sept. 2005. LNI 67 GI 2005, S. 350-354	9	ja
57	<b>Schmidhalter, U. (2005):</b> Sensing soil and plant properties by non-destructive measurements. Proceedings of the International Conference on Maize Adaptation to Marginal Environments, Pak Chong, Nakhon Ratchasima, Thailand, 81-90.	10	ja
58	<b>Schmidhalter, U., Glas, J., Heigl, R., Manhart, R., Wiesent, S., Gutser, R., Neudecker, E. (2001):</b> Application and testing of a crop scanning instrument – field experiments with reduced crop width, tall maize plants and monitoring of cereal yield. 3 <sup>rd</sup> European Conference on Precision Farming, Montpellier, 953-958.	10	ja
59	<b>Schmidhalter, U., Jungert, S., Ebertseder, T., Duda, R., Gutser, R., Gerl, G. (2003):</b> Erfassung repräsentativer Kenngrößen der Wasserverfügbarkeit und des N-Haushalts von Teilschlägen. In: FAM-Jahresbericht 2002, 109-116.	10	
60	<b>Schmidhalter, U., Jungert, S., Ebertseder, T., Duda, R., Gutser, R., Gerl, G. (2003):</b> Field-scale validation of a tractor based multispectral crop scanner to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat. Precision Agriculture, 615-619.	4, 10	ja
61	<b>Schmidhalter, U., Zintel, A. (1999):</b> Schätzung der räumlichen Variationen des Ton- und Wassergehaltes mit elektromagnetischer Induktion. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 91, 871-874.	4	
62	<b>Schmidhalter, U., Zintel, A., Neudecker, E. (2001):</b> Calibration of electromagnetic induction measurements to survey the spatial variability of soils. In „Proceedings of the 3 <sup>rd</sup> European Conference on Precision Agriculture. Eds. G Grenier and S. Blackmore, 953-958.	4	ja
63	<b>Schneider, T. und I. Manakos (2000):</b> Anisotropie der Rückstrahlung - Störfaktor oder Informationsquelle? Erörterung anhand des Beispiels „precision farming“. Berichte der GIL. Berlin/Weihenstephan 2000, Band 13, p. 187-190.	5	ja
64	<b>Selige, T., Schmidhalter, U. (2001):</b> Remote sensing of soil properties to support site-specific farming. In: Plant Nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems. Eds. W. Horst et al., 752-753.	4	ja

65	<b>Selige, T., Schmidhalter, U. (2001):</b> Site-specific soil resource mapping using remote sensing. In: Proceedings of the 3 <sup>rd</sup> European Conference on Precision Agriculture. Eds. G Grenier and S Blackmore, 307-311.	4	ja
66	<b>Spangler, A., Auernhammer, H., Demmel, M. (2001):</b> Stimulating use of open communication standards in agriculture (DIN 9684 and ISO 11783) with capable Open Source Program Library as possible reference implementation. In: Proceedings of the "Third European Conference on Precision Agriculture (Eds.: Grenier, G., Blackmore, S.). agro Montpellier, Vol 2, pp. 719-724	2	ja
67	<b>Spangler, A., Auernhammer, H. (2000):</b> Die LBS Programmbibliothek - erstes Open Source Modell in der Landwirtschaft. {Japanische Übersetzung by T. Kataoka} In: Proceedings of the 2nd Sapporo International Symposium 2000: Electronic Farm Communication with LBS. Hokkaido (Japan): Hokkaido Branch of JSAM, S. 89-115	2	
68	<b>Spangler, A., Auernhammer, H. (2000):</b> Die LBS Programmbibliothek - erstes Open Source Modell in der Landwirtschaft. In: Proceedings of the 2nd Sapporo International Symposium 2000: Electronic Farm Communication with LBS. Hokkaido (Japan): Hokkaido Branch of JSAM, S. 89-115	2	
69	<b>Spangler, A., Auernhammer, H., Demmel, M. (2001):</b> Program Library "LBSlib" for Agricultural BUS-System (LBS, DIN 9684) - First open source project in Agriculture. In: Proceedings of the "Third European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment (Eds.: Steffe, J.). agro Montpellier, pp. 549-554	2	ja
70	<b>Spangler, A., Demmel, M., Auernhammer, H. (2001):</b> LBSlib als Open Source für Jedermann. In: Tagung Landtechnik 2001: VDI-Verlag Düsseldorf, VDI-Berichte 1636, S. 101-106	2	
71	<b>Spangler, A., Schulz, J., Auernhammer, H. (2003):</b> Outsourcing of Software Development for Product Innovations - Demonstrated by the Creation of the Chlorophyll Sensor MiniVeg N. In: Tagung Landtechnik 2003. VDI-Verlag Düsseldorf, S. 427-432	2	
72	<b>Spangler, H., Auernhammer, H. (2000):</b> Die LBS-Programmbibliothek - erstes Open Source Modell in der Landwirtschaft. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan, Weihenstephan, Band 13, S. 210-214	8	
73	<b>Steinberger, G., Rothmund, M., Auernhammer, H. (2005):</b> Integration manueller Erfassungsmöglichkeiten in Systeme zur automatischen Prozessdatenerfassung als ein weiterer Schritt zur Automatisierung der Dokumentation. In: Proceedings Informatik 2005, Informatik Live! zur 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 19.-22.9.2005 in Bonn. Bonn: Köllen Druck, Band 1, S. 370-374 (ISBN 3-88579-369-2)	8	
74	<b>Steinberger, G., Rothmund, M., Auernhammer, H. (2005):</b> Integration manueller Erfassungsmöglichkeiten in Systeme zur automatischen Prozessdatenerfassung als ein weiterer Schritt zur Automatisierung der Dokumentation. In: Proceedings Informatik 2005, Informatik Live! zur 35. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 19.-22.9.2005 in Bonn. Bonn: Köllen Druck, Band 1, S. 370-374 (ISBN 3-88579-369-2)	8	ja

75	<b>Steinmayr, T., Auernhammer, H., Demmel, M. (2001):</b> Discussion of a standardized algorithm to improve the quality of local yield data. In: Proceedings of the "Third European Conference on Precision Agriculture (Eds.: Grenier, G., Blackmore, S.). agro Montpellier, Vol 2, pp. 863-868	1	ja
76	<b>Steinmayr, T., Auernhammer, H., Demmel, M. (2000):</b> Untersuchungen zur Genauigkeit von DGPS mit Pseudorange-Korrektur für Feldarbeiten. In: Berichte der Gesellschaft für Informatik in Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Referate der 21. GIL-Jahrestagung in Freising-Weihenstephan, Weihenstephan, Band 13, S. 219-223	1	
77	<b>Steinmayr, T., Auernhammer, H., Maurer, W., Demmel, M., Stempfhuber, W., Schwenke, T., Römer, H.P. (2000):</b> First evaluation of the applicability of infrared-tracking-systems for examining the accuracy of DGPS in field works. In: Proceedings 28. International Symposium on Agricultural Engineering. Opatija (Kroatien), pp. 53-61	1	ja
78	<b>Sticksel, E., Huber, G., Liebler, J, Maidl, F.-X. (2004):</b> The Effect of Diurnal Variations of Canopy Reflectance on the Assessment of Biomass. In: 7 <sup>th</sup> Intern. Conf. Prec. Agric. 2004, Hytt Regency-Minneapolis-Minnesota-USA, p 1177-1186	3	ja
79	<b>Wagner, P. (2000):</b> Problems and Potential Economic Impact of Precision Farming. In: CONESE, C. und FALCI, M. A.: Computer Technology in Agricultural Management and Risk Prevention, 7th ICCTA (International Congress for Computer Technology in Agriculture), Florence, Italien, p.241-249	6, 7	
80	<b>Wagner, P. (2000):</b> Problems and Potential Economic Impact of Precision Farming. In: CONESE, C. und FALCHI, M. A.: Computer Technology in Agricultural Management and Risk Prevention, 7th ICCTA (International Congress for Computer Technology in Agriculture), Florence, Italien, p.241-249	6, 7	
81	<b>Wagner, P. (2005):</b> Aspekte der Wirtschaftlichkeit von Precision Farming. In: ALB Baden-Württemberg (Hrsg.): Fachgespräch "Teilflächenspezifischer Pflanzenbau und Parallelfahreinrichtungen", ISSN 0949-7838, S.71-91.	7, 12	
82	<b>Wagner, P., Schneider, M., Weigert, G. (2005):</b> Einsatz künstlicher Neuroner Netze zur automatischen Ableitung von Entscheidungsregeln für die N-Düngung in Winterweizen. In: Gesellschaft für Agrarinformatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (Hrsg.): Zeitschrift für Agrarinformatik, 4/2005	5, 12	ja
83	<b>Wagner, P. (1999):</b> Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit von Precision Farming. In: AGROCOM (Hrsg.): Precision Farming auf dem Weg in die Praxis - Fortschritte in Methodik und Technik, Bielefeld, S.112-136.	6, 7	
84	<b>Weigert, G. und Wagner, P.(2003):</b> Optimierung standortangepassten N-Düngung über teilflächenspezifische Ertragsprognosen. In: BUDDE, J., MÜLLER, R.A.E. und BIRKNER, U. (Hrsg.): Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst und Ernährungswirtschaft, Band 16. Göttingen, S. 161-164.	12	ja
85	<b>Weigert, G., Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Heißenhuber, A., Wagner, P. (2004):</b> Evaluation of Decision Rules for Site Specific N-Fertilization in Strip Trials. International Conference on Information Systems & Innovative Technologies in Agriculture, Food and Environment; Thessaloniki (Greece). Editors: M. Vlachopoulou, V. Manthou, L. Illiadis, S. Gertsis and M. Salampasis. Proceedings Volume II. ISBN 960-287-048-6	12, 13	

86	<b>Weigert, G., Horváth, L., Wagner, P. (2004):</b> Anwendung von Precision Farming Technologien für ein integriertes und automatisiertes Supply Chain Management bei Getreide. Referate der GIL, Bonn 2004.	12	
87	<b>Weigert, G., Wagner, P. (2003):</b> Development of Decision Rules for Site-Specific N Fertilization by the Application of Data Mining Techniques. In: J. Stafford (Hrsg.) Precision Agriculture. Berlin, 2003	12	ja
88	<b>Weigert, G., Wagner, P. (2004):</b> Site-Specific Yield Prediction for Varying N Rates by the Application of Data Mining Techniques. In: Mulla, D.J. (Hrsg.). Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture. July 25-28, 2004, Minneapolis, Minnesota. S. 1672-1684	12	ja
89	<b>Rothmund, M., Auernhammer, H. (2004):</b> A web based information management system for process data designed with open source tools. In: AgEng Leuven 2004: Book of abstracts. Leuven 2004, part 2, pp. 846-847 (ISBN 90-76019-258)	8	ja
90	<b>Rothmund, M., Zipprich, M., Auernhammer, H., Demmel, M. (2003):</b> Zugkraftmessung bei der Bodenbearbeitung als ergänzende Information zur Standortbeschreibung. In: Tagung Landtechnik 2003. VDI-Verlag Düsseldorf, S. 305-310	8	ja

\*) Als „Reviewed“ wurden all jene Beiträge gekennzeichnet, welche im Rahmen der Einreichung einem Review-Prozess unterzogen waren. Dies gilt in vielen Konferenzen auch für ein- bis zweiseitige Abstracts!

### 5.3 Buchbeiträge

Lfd. Nr.	Publikation	TP	Reviewed *)
1	<b>Auernhammer, H. (2001):</b> Precision farming - the environmental challenge. In: Computers and Electronics in Agriculture, Millenium Special issue: Past Developments and Future Directions. Amsterdam: Elseviere Science 30, pp. 31-43	1, 2	ja
2	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> Prozesssteuerung und Prozessautomatisierung in der Pflanzenproduktion. In: Agrarinformatik (Hrsg.: Doluschitz, R., Spilke, J.) Stuttgart: Ulmer Verlag, S. 209-241 (ISBN 3-8252-2230-6)	1, 2	ja
3	<b>Auernhammer, H. (2002):</b> The Role of Mechatronics in Crop Product Traceability. CIGR-Ejournal, Vol. IV, Oct. 2002. Invited Overview Articles no. 15, 21 pages (ISSN 1682-1130)	1, 2	ja
4	<b>Auernhammer, H. (2004):</b> Präziser Ackerbau. In: Jahrbuch Agrartechnik 2004 (Hrsg. H.J. Matthies, F. Meier). Landwirtschaftsverlag Münster, S. 31-38 (ISBN 3-7843-3272-2)	8	ja
5	<b>Auernhammer, H. (2004):</b> Precision Crop Farming. In: Jahrbuch Agrartechnik 2004 (Eds. H.J. Matthies, F. Meier). Landwirtschaftsverlag Münster, S. 31-38 (ISBN 3-7843-3272-2)	8	ja
6	<b>Auernhammer, H. (2005):</b> Der Weg zum "Landwirtschaftlichen BUS-System (LBS)". In: Miterlebte Landtechnik III, Frankfurt: DLG-Verlag, S. 174-181 (ISBN 3-7690-0649-6)	8	ja
7	<b>Auernhammer, H. (2006):</b> Präziser Ackerbau. In: Jahrbuch Agrartechnik 2006 (Hrsg. H.H. Harms, F. Meier). Landwirtschaftsverlag Münster, S. 35-42 (ISBN 3-7843-3384-2)	8	ja

8	<b>Auernhammer, H. (2006):</b> Precision Crop Farming. In: Jahrbuch Agrartechnik 2006 (Hrsg. H.H. Harms, F. Meier). Landwirtschaftsverlag Münster, S. 35-42 (ISBN 3-7843-3384-2)	8	ja
9	<b>Auernhammer, H., Schueller, J.K. (1999):</b> Precision Agriculture. In: CIGR-Handbook of Agricultural Engineering. Vol. III: Plant Production Engineering. St. Joseph: ASAE 1999, pp. 598-616	1, 2	ja
10	<b>Auernhammer, H., Speckmann, H. (in print):</b> Dedicated communication systems and standards for agricultural applications. In: CIGR-Handbook of Agricultural Engineering. Vol. VI: Information Technology. St. Joseph: ASAE	8	ja
11	<b>Geesing, D. Gutser, R., Schmidhalter, U. (2001):</b> Variability of soil water and nitrogen as causes of yield variability in heterogeneous fields. In: Developments in Plant and Soil Sciences, Kluwer Academic Publishers 92, 388-389.	4	ja
12	<b>Ruthenkolk, F., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2001):</b> Development of a non-contacting method for the determination of the plant water status. In „Plant Nutrition –Food security and sustainability of agro-ecosystems“, Kluwer Academic Publishers, 392-393.	4	ja
13	<b>Wagner, P. (1999):</b> Produktionsfunktionen und Precision Farming. In: Zukunftsorientierte Betriebswirtschaft und Informationstechnologien in der Agrarwirtschaft. Gießener Schriften zur Agrar- und Ernährungswirtschaft, Heft 29. Frankfurt, S.39-66.	6	
14	<b>Wagner, P. (1999):</b> The Future of Precision Farming - The Development of a Precision Farming Information System and Economic Aspects. In: SCHIEFER, G., HELBIG, R. und RICKERT, U.: Perspectives of modern Information and Communication Systems in Agriculture, Food Production and Environmental Control (Volume B), Bonn, p.461-472	6, 7	ja
15	<b>Wagner, P. (2000):</b> Neue Einkommenschancen durch Precision Farming und Marktorientierung. In: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (Hrsg.): Der Landwirt der Zukunft, Archiv der DLG, Band 94. Frankfurt, S. 135-170.	6,7	
16	<b>Wagner, P. (2004):</b> Wirtschaftlichkeit von Precision Farming - Methoden und Möglichkeiten der Wirtschaftlichkeitsüberprüfung im landwirtschaftlichen Unternehmen. In: HUFNAGEL, J. et al. (Hrsg.): Precision Farming - Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. KTBL-Schrift 419, Darmstadt, S. 6.31-6.53.	7,12	

## 5.4 Geplante Veröffentlichungen

Lfd. Nr.	Publikation	TP	Reviewed *)
1	<b>Bachmaier M., Auernhammer H.:</b> Yield Mapping Using Robust Fitting Paraboloid Cones on Floating Butterfly Neighbourhoods First submission in October 2004 for publication in Precision Agriculture (to be revised), second submission in July 2005, the third submission is planned in March 2006. Ca.\ 20 pages.	8	ja
2	<b>Bachmaier M.:</b> Finding Adequate Neighborhoods for Robust Yield Mapping. The latest up-date of the first part of the book, is available on <a href="http://www.tec.wzw.tum.de/pflanztech/englisch/personen/bachmaier/bachmaier.html">http://www.tec.wzw.tum.de/pflanztech/englisch/personen/bachmaier/bachmaier.html</a> under Statistical Appendices to Agricultural Articles.	8	ja

3	<b>Bachmaier M.:</b> Optimising a Butterfly Neighbourhood for One-Step Yield Mapping by Comparing Plot and Monitor Yield Values. Submitted in June 2005 for publication in Precision Agriculture. To be revised.	8	ja
4	<b>Ebertseder, T., Gutser, R., Hege, U., Schmidhalter, U.:</b> Strategies for site-specific nitrogen fertilization with respect to long-term environmental demands. To be submitted to European Journal of Agronomy.	10	ja
5	<b>Geesing, D., Gutser, R., Schmidhalter, U.:</b> Site-specific effects of water supply and nitrogen fertilization of winter wheat. European Journal of Agronomy.	4	ja
6	<b>Mistele, B., Gutser, R., Schmidhalter, U.:</b> Validation of tractor-based spectral reflectance measurements using an oligo view optic to detect the nitrogen status in winter wheat. European Journal of Agronomy.	10	ja
7	<b>Mistele, B., Schmidhalter, U.:</b> Estimating nitrogen nutrition index with spectral canopy reflectance measurements. Plant and Soil.	10	ja
8	<b>Mistele, B., Schmidhalter, U.:</b> Validation of field-scaled spectral measurements of the nitrogen status in maize using an oligo view optic. Field Crops Research.	10	ja
9	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H. (geplant):</b> Modelling and simulation of a Real-time process control for a sensor based fertilizer application system, Precision Agriculture	8	ja
10	<b>Ostermeier, R., Rogge, H.I., Auernhammer, H. (proposal abstract für Konferenz eingereicht):</b> Multisensor data fusion implementation by the means of an expert system for a real-time process control for a sensor based fertilizer application system; ATOE 2006, Bonn	8	ja
11	<b>Wagner, P., Schneider, M., Weigert, G.:</b> The use of Neural Networks to generate Decision Rules for Site-Specific N-Fertilization of Winter-Wheat. To be submitted to Precision Agriculture.	12	ja

\*) Es werden nur Beträge genannt, welche einem Review-Prozess unterzogen werden.

## 5.5 Dissertationen, Studien- und Diplomarbeiten, Berichte, sonstige Publikationen

### 5.5.1 Dissertationen

Lfd. Nr.	Publikation	TP
1	<b>Augsburger, C. (2002):</b> Konzeption und Implementierung eines Leistungs-Kostenrechnungsmodells zur Auswertung kleinräumiger Daten. Dissertation Weihenstephan: Fachgebiet Unternehmensforschung und Informationsmanagement	7
2	<b>Gandorfer, M. (2006):</b> Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Dissertation Weihenstephan: Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus	13
3	<b>Geesing, D. (2003):</b> Site-specific effects of water supply and nitrogen fertilization on winter wheat. Dissertation Weihenstephan: Lehrstuhl für Pflanzenernährung	4
4	<b>Liebler, J. (2003):</b> Feldspektroskopische Messungen zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen, TU	3

	München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung	
5	<b>Linseisen, H. (2002):</b> Entwicklung eines Management-Informationssystems für Entscheidungen im Precision Farming. Dissertation Weihenstephan: Fachgebiet Unternehmensforschung und Informationsmanagement	6
6	<b>Manakos, I. (2003):</b> Informationsableitung aus "Off Nadir"-Reflexionsaufnahmen zur Entscheidungsunterstützung in "Precision Agriculture", TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz	5
7	<b>Mistele, B. (2006):</b> Tractor based spectral reflectance measurements using an oligo view optic to detect biomass, nitrogen content and nitrogen uptake of wheat and maize and the nitrogen nutrition index of wheat. Dissertation Weihenstephan: Lehrstuhl für Pflanzenernährung	10
8	<b>Ostermeier, R. (1. Fassung):</b> Multisensor Data Fusion in einem standardisierten mobilen elektronischen Kommunikationssystem. Dissertation Weihenstephan: Fachgebiet Technik im Pflanzenbau	8
9	<b>Schmid, A. (1. Fassung):</b> Erfassung des aktuellen Stickstoffstatus von Kulturpflanzen mit berührungsloser Sensorik zur Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung. Dissertation Weihenstephan: Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung	9
10	<b>Steinmayr, T. (2002):</b> Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mähdrescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung. Dissertation Weihenstephan: Fachgebiet Technik im Pflanzenbau	1
11	<b>Weigert, G. (2006):</b> Data Mining und Wissensentdeckung im Precision Farming - Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoff-Ausbringung. Dissertation Weihenstephan: Fachgebiet Unternehmensforschung und Informationsmanagement	12

### 5.5.2 Diplomarbeiten und Masterarbeiten

Lfd. Nr.	Publikation	TP
1	<b>Asensio, P. (1999):</b> Genauigkeit von DGPS mit verschiedenen Korrekturdatensystemen im statischen und mobilen Einsatz. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	2
2	<b>Beimler, M. (2002):</b> Charakterisierung der Biomasseentwicklung von Mais mittels Reflexionsmessungen. Am Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, WZW, TU München in Zusammenarbeit mit Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Land- und Ernährungswirtschaft	9
3	<b>Betz, D. (2005):</b> Entwicklung eines systemunabhängigen Datenaustauschformats für automatisch erfasste landwirtschaftliche Prozessdaten. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
4	<b>Erdle, K. (2005):</b> Herleitung der nutzbaren Feldkapazität aus Biomasseparametern von Winterweizen mittels multipler Regression für das Tertiärhügelland. Masterarbeit Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
5	<b>Hammer, J. U. (2002):</b> Einsatzmöglichkeiten und Potentiale von "Precision Farming" auf dem Standort Entre Rios/Südbrasilien. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	1, 2
6	<b>Huber, C. (2004):</b> Comparison of Yield Mapping Methods and an Analysis of Rainfall Effects on temporal Variation. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8

7	<b>Jungert, S. (2005):</b> Sensorische Erfassung von Wasserstress bei Winterweizen. Masterarbeit Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
8	<b>Lex, M. (2003):</b> Untersuchung zur Charakterisierung des Stickstoffstatus von Getreide mit der Methode der laserinduzierten Chlorophyllfluoreszenz. Am Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, WZW, TU München in Zusammenarbeit mit Christian Albrechts Universität zu Kiel	9
9	<b>Mengele, J. (2005):</b> Untersuchung wichtiger Einflussfaktoren auf Spurführungssysteme in hügeligem Gelände und Bereitstellung von sensorischen und algorithmischen Lösungsmöglichkeiten. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
10	<b>Meyer, F. (2001):</b> Marktchancen eines Systems zur automatisierten Prozessdatenerfassung. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	2
11	<b>Rogge, H. I. (2004):</b> Expert System for Application Implement Control. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
12	<b>Rothmund, M. (2001):</b> Entwicklung eines SQL-basierten Auswertungsprogramms für die Automatische Prozessdatenerfassung mit LBS, GPS und IMI. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	2
13	<b>Scherm, B. (2002):</b> Investitionsbedarf für Precision Farming. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	1, 2, 7
14	<b>Scherm, K. (2005):</b> Entwicklung und Untersuchung einer elektronischen Prozesssteuerung auf Basis des ISO 11783 Standards für einen Rauch Düngerstreuer. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
15	<b>Schraml, M. (2004):</b> Durchsatzerkennung im selbstfahrenden Feldhäcksler. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
16	<b>Schwackenhofer, S.: (1999):</b> Genauigkeitsuntersuchungen und Arbeitszeitanalysen für DGPS-Daten mit Tachymeterreferenz aus der Feldbewirtschaftung. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	2
17	<b>Steinberger, G. (2005):</b> Integration manueller Dateneingaben in ein automatisches Dokumentationssystem. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
18	<b>Kormann, G. (1997):</b> Entwurf, Planung, Konstruktion und Test eines Prüfstandes für Ertragsmeßgeräte in Mähdreschern. Diplomarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	1

### 5.5.3 Studienarbeiten

Lfd. Nr.	Publikation	TP
1	<b>Brunner, M., Scharnagl, S., Toth A. (2003):</b> GPS-Anwendungen für die Landwirtschaft- Vergleich und Bewertung von GPS-Hardware, Referenzsignalen und mobilen GIS-Systemen. Projektarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
2	<b>Bschor, M. (2005):</b> Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz. Weihenstephan: Lehrstuhl für Pflanzenernährung	10
3	<b>Busch, J. (2003):</b> Analyse und Bewertung verfügbarer Rand- und Grenzstreueinrichtungen bei Mineraldüngerstreuern. Seminararbeit Weihenstephan: Lehrstuhl für Landtechnik	2
4	<b>Firlbeck, H. (2006):</b> Nutzung der Bodenleitfähigkeit zur Ableitung von Bodeneigenschaften. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10

5	<b>Friedrich, C. (2006):</b> Vergleich von im Markt befindlichen Dokumentationssystemen für Traktoren. Seminararbeit Weihenstephan: Lehrstuhl für Landtechnik	8
6	<b>Habeker, R. (2006):</b> Der Pflanzenbestand als Bioindikator zur Standortkartierung. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
7	<b>Hengl A., Jungklaus, S.-O., Prem, W., Schlake, M.-P. (2003):</b> Projektierung und Durchführung eines Versuchs zur differenzierten Drillsaat. Projektarbeit Weihenstephan: FG Technik im Pflanzenbau	8
8	<b>Holzappel, (2005):</b> Greenseeker, Reflexionsmessung mit Hilfe von Leuchtdioden. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
9	<b>Koch, P. (2006):</b> Spektroskopische Erfassung des Bodenumusgehaltes. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
10	<b>Lammer, C. (2006):</b> Geophysikalische Messverfahren zur Bestimmung von Bodenparametern. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
11	<b>Lehner, M. (2004):</b> Erfassung des Verbreitungsgrades der Normsignalsteckdose gemäß DIN 9681-1/ISO 11786 in Traktoren auf nationaler und internationaler Ebene. Seminararbeit Weihenstephan: Lehrstuhl für Landtechnik	8
12	<b>Mengele, J. (2003):</b> Untersuchung verfügbarer Spurführsysteme (Parallel-Tracking, Auto-Guidance-Systeme) bezüglich der verwendeten Technik und Genauigkeit. Seminararbeit Weihenstephan: Lehrstuhl für Landtechnik	8
13	<b>Meyer, A. (2003):</b> Analyse und Vergleich von Wiegesystemen in Mineraldüngerstreuern. Seminararbeit Weihenstephan: Lehrstuhl für Landtechnik	8
14	<b>Mögele, A. (2006):</b> Aktive Sensoren zur Bestimmung des N-Bedarfes in Kulturpflanzenbeständen. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
15	<b>Petzenhauser, F. (2006):</b> Wie wird der Passive N- Sensor dämmerungs- und nachtaktiv? Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
16	<b>Plocki, K. von (2006):</b> Akzeptanz von Precision Farming. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
17	<b>Rauh, S. (2005):</b> Pendelsensoren zur Ermittlung der Pflanzenmasse. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
18	<b>Röger, M. (2006):</b> Das europäische Satellitenortungssystem "Galileo". Technische Möglichkeiten, Stand der Umsetzung und Ausblick. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
19	<b>Schelle, M. (2006):</b> Schnelltestverfahren in der Nährstoffdiagnose landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
20	<b>Wimmer, M. (2006):</b> Wege zur eigenen Düngeempfehlung mit Hilfe von Nitrat und Chlorophyll. Weihenstephan: LS für Pflanzenernährung	10
21	<b>Zirngibl, T. (2002):</b> Analyse der technischen Einrichtungen für Fahrgassenschaltungen. Seminararbeit Weihenstephan: Lehrstuhl für Landtechnik	2

## 5.5.4 Tagungsbände

Lfd. Nr.	Publikation	TP
1	<b>Auernhammer, H., Ostermeier, R. (2004):</b> Tagungsband zu "Yield Mapping - A first attempt to standardized procedures", Freising-Weihenstephan, 12.-13.03.2004	8
2	<b>Augsburger, C., Liebler, J. (2000):</b> Tagungsband zu Workshop "Ökonomik und Informationsmanagement der Teilflächenbewirtschaftung", Freising-Weihenstephan, 27.-28.09.2000	3, 7
3	<b>Liebler, J., Manakos, I., Ruthenkolk, F. (2001):</b> Tagungsband zu IWSAPF "International Workshop on Spectroscopy Application in Precision Farming", Freising-Weihenstephan, 16-18.01.2001	3, 4, 5
4	<b>Liebler, J., Sticksei, E, Maidl, F.-X. (2001):</b> Detection of dry matter and nitrogen status of crops by field-spectroscopy. In: International Workshop on Spectroscopy Application in Precision Farming, Freising-Weihenstephan 2001, p. 20-24	3
5	<b>Linseisen, H., Steinmayr, T. (2000):</b> Ergebnisse des Workshops "Gewinnung und Verarbeitung ortsbezogener Ertragsdaten", Freising-Weihenstephan, 26.-27.09.2000	1, 6
6	<b>Manakos, I. und T. Schneider (2001):</b> Field spectroscopic measurements for the approximation of the BRDF in the frame of precision farming. International Workshop on Spectroscopy Application in Precision Farming. Freising-Weihenstephan 2001, p. 68-73.	5
7	<b>Mistele B., Gutser R., Schmidhalter U. (2003):</b> Spektrale Bestimmung von Biomasse, Ertrag und Stickstoffstatus im Feldversuch bei Mais. Workshop Precision Farming, Hohenheim: 20.5.2003.	10
8	<b>Mistele B., Gutser R., Schmidhalter U. (2004):</b> Validierung von Spektralmessungen in Winterweizen. Workshop Precision Farming, Freising: 2. - 3.6.2004.	10
9	<b>Ruthenkolk F., Gutser R., Schmidhalter U. (2001):</b> Use of field spectroscopy for the determination of the water status in crop canopies. International workshop on spectroscopy application in Precision Farming. Freising, 16. – 19.1.2001.	10
10	<b>Schmid, A., Maidl, F.-X. (2004):</b> Bonitur von Biomasse und Stickstoffaufnahme bei verschiedenen Feldfrüchten mit berührungslöser Sensorik. In: Workshop Precision Farming am 2./3. Juni 2004 TUM Weihenstephan, DFG-Forschergruppe Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung - Dürnast (IKB), Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. (2004) S. 21-23	9
11	<b>Schmidhalter, U., Maidl, F.-X., Mistele, B., Schmid, A. (2004):</b> Tagungsband zu Workshop "Precision Farming", DFG-Forschergruppe IKB-Dürnast und Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V., Freising-Weihenstephan, 2.-3.06.2004	9, 10
12	<b>Schneider, T., De Kok, R., Buck, A. und I. Manakos (2000):</b> Objektorientierte Bildanalyse – Paradigmenwechsel in der thematischen Auswertung von Erdbeobachtungsdaten?, Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz der TU München (Hrsg.), Aktuelle Forschungsberichte, Festschrift zur Emeritierung von Prof. Dr. U. Ammer. Freising 2000, p. 234-258.	5
13	<b>Schneider, T., Manakos, I., Reinartz, P. und P. Mueller (1999):</b> The evaluation of spectral and angular signatures from MOMS-2/Pmode D sets - an applicatin case study for land use purposes. Presentation at the joint Workshop of ISPRS Working Groups I/1, I/3 and IV/4: Sensors and Mapping from Space 1999. Hannover (Germany) , ( <a href="http://www.lrz-muenchen.de/~lrr/biblio/ioannis/mana_pap1.pdf">http://www.lrz-muenchen.de/~lrr/biblio/ioannis/mana_pap1.pdf</a> )	5

14	<b>Schneider, T., Manakos, I., Reinartz, P. und R. Mueller (1999):</b> Anisotropy information from MOMS-02/PRIRODA stereo datasets – an additional physical parameter for land surface characterisation. Presentation at the joint ISPRS/EARSel Workshop: Fusion of Sensor Data, Knowledge Sources and Algorithms for Extraction and Classification of Topographic Objects. Valladolid Spain 1999, <a href="http://www.lrz-muenchen.de/~lrr/biblio/ioannis/mana_pap3.pdf">http://www.lrz-muenchen.de/~lrr/biblio/ioannis/mana_pap3.pdf</a> .	5
15	<b>Ostermeier, R., Auernhammer, H. (2004):</b> Entwicklung und Test einer Realtime-Prozessführung für sensorgestützte Düngesysteme Tagungsband Workshop Precision Farming der DFG-Forschergruppe IKB-Dürnast und der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. 2-3.06.2004, Freising-Weihenstephan, S. 47-48	8

### 5.5.5 Sonstige

Lfd. Nr.	Publikation	TP
1	<b>Augsburger, C. (1998):</b> Entwicklung eines Kostenrechnungssystems zur Auswertung kleinräumiger Daten. Forschergruppe „Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung – Dürnast“ (IKB-Dürnast). In: Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen, Freising-Weihenstephan, S. 5-7	7
2	<b>Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A. (2002):</b> Precision Farming - Ein zukunftsweisender Ansatz zur integrativen Lösung von Problemen der modernen Landwirtschaft? Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen, Freising-Weihenstephan	7
3	<b>Liebler, J. (1998):</b> Forschergruppe „Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung – Dürnast“ (IKB – Dürnast) In: Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen, Freising-Weihenstephan (1998) S. 5-7	3
4	<b>Linseisen, H. (1998):</b> Forschergruppe "Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung - Dürnast" (IKB-Dürnast). In: Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen, Freising-Weihenstephan, S. 5-7	6
5	<b>Machado, P. (2005):</b> Investigations on Multisensor Data Fusion Algorithms for Implementation of „Real-time approach with map overlay“ for N-fertilization. DAAD post-doc-Stipendiat (Brasilien), Research project report, Freising-Weihenstephan, Fachgebiet Technik im Pflanzenbau	8
6	<b>Manakos, I. (1998):</b> Forschergruppe „Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung – Dürnast“ (IKB-Dürnast). Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen. Freising-Weihenstephan 1998, p. 5-7.	5
7	<b>Ostermeier, R. (2003):</b> Japanisch-Deutsches Landtechnik-Seminar (TUM) Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen; Heft Nr. 95 - Winter 2003; S. 9	8
8	<b>Ostermeier, R. (2003):</b> Technik im Pflanzenbau präsentierte sich auf der Agritechnica 2003. Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen; Heft Nr. 95 - Winter 2003; S. 11	8
9	<b>Ostermeier, R. (2005):</b> Neues von der DFG-Forschergruppe IKB-Dürnast; IKB-Abschluss-Symposium vom 11/12. Oktober 2005 Mitteilungen der Vereinigung Weihenstephaner Universitätsabsolventen; Heft Nr. 99 - Winter 2005; S. 5	8
10	<b>Wagner, P. und Heinrich, J. (2004):</b> Precision Farming. In: Fakultätsbote der Gesellschaft der Freunde der Landwirtschaftlichen Fakultät e.V., 2, S.16-22.	12, 13

11	<b>Wagner, P., Augsburg, C. und J. Liebler (2000):</b> Zusammenfassung der Ergebnisse des IKB-Workshops "Ökonomik und Informationsmanagement der Teilflächenbewirtschaftung". Veranstalter: Informationssystem kleinräumige Bestandesführung (IKB-Dürnast). Freising-Weihenstephan, ( <a href="http://www.weihenstephan.de/ui/veroeff/wsoe.htm">http://www.weihenstephan.de/ui/veroeff/wsoe.htm</a> )	5, 6, 7
----	---	---------

## 6 Wissenschaftliche Veranstaltungen und sonstige Ereignisse

Die 6-jährige Laufzeit der Forschergruppe ist durch eine Vielzahl von Veranstaltungen und Aktivitäten geprägt. Diese sollen nachfolgend aufgezeigt und dokumentiert werden:

### 6.1 IKB-Sitzungen

Die strategische Arbeit erfolgte in den „IKB-Sitzungen“ mit jeweils fixen Terminen im 4-wöchigen Abstand. In insgesamt 78 IKB-Sitzungen erfolgte die Projektplanung, Projektkoordination, Statuspräsentation und der erforderliche Informationsaustausch.

Innerhalb dieses Ablaufs wurden 4 Sitzungen in Form einer Vortragsveranstaltung durchgeführt, bei der jeder Teilprojektbearbeiter seine aktuellen Forschungsergebnisse und weitere geplante Arbeiten vorstellte und sich einer kritischen Diskussion stellen musste. Weitere 4 Sitzungen wurden in Form einer Feldbegehung und Besichtigung der Versuchsfelder durchgeführt.

<b>Jahr</b>	<b>IKB-Sitzungen</b>	<b>Statuspräsentation</b>	<b>Versuchsfelderbesichtigung</b>
1998	7		
1999	10		
2000	10		
2001	12	1	1
2002	11	1	1
2003	9	1	1
2004	8	1	1
2005	3		
<b>Summe</b>	<b>70</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

### 6.2 IKB-Seminare

Begleitend zu den eigenen Forschungsarbeiten wurden in speziell anberaumten IKB-Seminaren aktuelle Themen behandelt und diskutiert. Dazu wurden von der IKB-Forschergruppe im Zeitraum von 1999 bis 2005 insgesamt 20 Seminare (jeweils Mittwoch, 17:00 bis 19:00) abgehalten. Neben den Projektbearbeitern berichteten eingeladene externe Referenten über ihre Arbeiten und Ergebnisse. Intensive Diskussionen rundeten die Seminare mit einer Dauer von jeweils 2 bis 2,5 Stunden ab. Die Seminare waren im Durchschnitt von etwa 40 Personen aus der eigenen Universität, der benachbarten Fachhochschule, von Vertretern externer Institutionen (Bauernverband, Maschinenringe, Softwarehäuser) und aus der landtechnischen Industrie besucht.

<b>Jahr</b>	<b>Anzahl IKB-Seminare</b>	<b>Referate mit geladenen Referenten</b>
1999	3	3
2000	6	6
2001	3	-
2002	5	2
2004	3	2
<b>Summe</b>	<b>20</b>	<b>13</b>

Dem gegenseitigem Informationsaustausch über laufende Forschungsarbeiten diene zudem ein Besuch des Sprechers der Forschergruppe und der Bearbeiter der Teilprojekte TP 8, TP 12 und TP 13 beim **ATB (Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim e.V.) in Potsdam-Bornim** am 4.11.2004. Dort wurden die eigenen Arbeiten und die am ATB durchgeführten Untersuchungen vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Es zeigte sich, dass Überschneidungen zwischen den jeweiligen Arbeitsgruppen an den beiden Standorten nicht vorhanden sind. Zugleich wurde offensichtlich, dass beide Gruppen in hohem Maße von den Arbeiten der jeweils anderen Gruppe partizipieren können. Ein direkter Informationsaustausch zwischen den Arbeitsgruppen konnte initiiert werden und besteht derzeit noch immer.

### 6.3 Pressekonferenzen / Pressegespräche

Zur gezielten bundesweiten Informationsvermittlung über die Existenz und die zielgerichtete Arbeit der Forschergruppe wurden auf der Versuchsstation Dürnast in den Jahren **2000, 2002 und 2003 eigene Pressekonferenzen/Pressegespräche** abgehalten. Mit jeweils 8 bis 10 Pressevertretern war eine sehr gute Resonanz zu verzeichnen, die sich in entsprechenden Berichten in Fachzeitschriften, regionalen und überregionalen Tageszeitungen widerspiegelte.

### 6.4 Workshops

In speziellen Workshops wurde versucht, den wissenschaftlichen Informationstransfer zu initiieren und zu beschleunigen. Dazu wurden unter der Leitung der jeweiligen Teilprojekte gezielt Gäste eingeladen und großer Wert auf eine ausreichende Industriebeteiligung gelegt. Neben deutschsprachigen Workshops wurden insbesondere auch international ausgelegte Veranstaltungen in englischer Sprache durchgeführt. Alle Veranstaltungen fanden am Standort Weihenstephan statt.

#### 6.4.1 Nationale Workshops

<b>Datum</b>	<b>Titel</b>	<b>Organisator</b>
26. - 27.09.2000	Gewinnung und Verarbeitung ortsbezogener Ertragsdaten	TP1, TP 6 Dipl.-Ing. agr. H. Linseisen, Dipl. Geogr. T. Steinmayr
27. - 28.09.2000	Ökonomik und Informationsmanagement der Teilflächenbewirtschaftung	TP 3, TP 7 Dipl.-Ing. agr. C. Augsburgsberger, Dipl.-Ing. agr. J. Liebler
07.11.2000	„Open Source“ Programmbibliothek LBS <i>lib</i>	TP 2 Dipl. Inform. A. Spangler
02. - 03.06.2004	Precision Farming	TP 9, TP 10 Prof. Dr. U. Schmidhalter, Dr. F.-X. Maidl, Dipl.-Ing. agr. A. Schmid, Dipl.-Ing. agr. B. Mistele
15. - 16.10.2004	On-Farm-Research	TP 12, TP 13 Prof. Dr. P. Wagner, Dipl.-Ing. agr. M. Gandorfer, Dipl. Kfm. G. Weigert, Dr. A. Meyer-Aurich

#### 6.4.2 Internationale Workshops

<b>Datum</b>	<b>Titel</b>	<b>Organisator</b>
16. - 18.01.2001	IWSAPF - International Workshop on Spectroscopy Application in Precision Farming	TP 3, TP 4, TP 5, Dipl.-Ing. agr. J. Liebler, M.Sc. Dipl. Geol. I. Manakos, Dipl. Biol. F. Ruthenkolk
12. - 13.03.2004	Yield Mapping – A first attempt to standardized procedures	TP 8 Prof. Dr. H. Auernhammer, Dipl.-Ing. R. Ostermeier

#### 6.5 Messe/Ausstellungen

Die DFG-Forschergruppe IKB-Dürnast präsentierte sich mehrmals auf der weltgrößten Landtechnikmesse AGRITECHNICA in Hannover einem breiten internationalen Publikum. Einem regionalen Publikum wurde zweimal die Gelegenheit gegeben, sich bei einer jeweils 4-wöchigen Ausstellung im Foyer der Freisinger Bank eG (Volks- und Raiffeisenbank) über die Forschungsaktivitäten der IKB-Phase I und Phase II zu informieren. Zusätzliche Aktivitäten fanden auch in Berlin und Potsdam statt, bei welchen neben den eigenen Arbeiten die Präsentation des IKB und wichtiger Ergebnisse ein wichtiges Anliegen war.

<b>Jahr</b>	<b>Nationale / Internationale Veranstaltung</b>	<b>Regionale Veranstaltung</b>
1999	AGRITECHNICA	
2000		Freisinger Bank
2001	AGRITECHNICA	
2002	Woche der Umwelt (Berlin)	
2003	AGRITECHNICA	Freisinger Bank
2005	AGRITECHNICA	„Jahrmarkt der Wissenschaften“ im Wissenschaftssommer 2005 (Potsdam)

## 6.6 Internetpräsenz

Von Beginn der Arbeiten im IKB-Dürnast wurde auf eine umfassende Präsentation im Internet großer Wert gelegt (<http://ikb.weihenstephan.de/>).



Abbildung 6.6.1: Homepage der Forschergruppe IKB-Dürnast

Analysen der Zugriffe belegen, dass diese Informationsform deutschland- und weltweit großen Anklang fand und intensiv genutzt wurde. Auch die Literaturhinweise in vielen

nationalen und internationalen Publikationen bestätigen die Wirksamkeit der erstellten Internetpräsentation.

### 6.7 IKB-Abschlusskolloquium

Vom 11. bis 12. Oktober 2005 veranstaltete die Forschergruppe IKB-Dürnast ihr Abschluss-Symposium. Untergliedert nach den Bereichen Boden und Wasser, Biomasse, Prozesssteuerung, sowie Ökonomie und Ökologie wurde die jeweiligen Hypothesen dargestellt, die erarbeiteten Ergebnisse aufgezeigt und die daraus abgeleiteten Folgearbeiten definiert. In einem abschließenden Vortrag durch Dr. Werner wurde das Verbundvorhaben „pre agro“ dargestellt (siehe Internet-Link mit Programm, Fotos und Präsentationen: <http://ikb.weihenstephan.de/ikb2/deutsch/symposium/>).

### 6.8 Sonstige herausragende Ereignisse

In Anerkennung seiner innovativen Arbeiten im „Precision Farming“ wurde der Sprecher der Forschergruppe IKB-Dürnast, Prof. Dr. Hermann Auernhammer, am 21.10.2001 in Freiburg mit dem „**Deutscher Umweltpreis 2001**“ ausgezeichnet.

Im Rahmen der Aktion „**Deutschland - Land der Ideen**“ ist die Studienfakultät für Agrar- und Gartenbauwissenschaften der TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, am 2.04.2006 der „**Ort des Tages**“. Ein Highlight an diesem „Tag der offenen Tür“ auf der Versuchsstation Dürnast ist die Präsentation der Arbeiten der IKB-Forschergruppe.