

## 2.1 Teilprojekt I-1 Technikvergleich

Schwachstellenanalyse bei Systemen zu precision agriculture durch Gerätevergleich sowie fachlich-technische Betreuung der großflächigen Beispielsvorhaben in den Praxisbetrieben des Verbundprojektes.

Teilprojektleiter: Dr. Dirk Quest / Dr. Wolfgang Schmidt / Dr. Alexander v. Chappuis

Bearbeiter: Dipl. Ing. (FH) Cornelia Weltzien

Einrichtung: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft,  
Prüfstelle für Landmaschinen

### 2.1.1 Aufgabenstellung, Zusammenfassung Projektantrag

Das Teilprojekt betreut fachlich-technisch die landwirtschaftlichen Betriebe, die im Rahmen des Verbundprojektes als Pilotbetriebe beim Einsatz der Technik zu precision agriculture fungieren. Hierbei übernimmt das Teilprojekt die Einführung von neuer Technik in die Betriebe sowie die Maschinenringe bzw. die Lohnunternehmen, organisiert für die übrigen Teilprojekte die Maßnahmengestaltung in den Betrieben und unterstützt die für die Teilprojekte erforderliche Datenerhebung. Das Teilprojekt ist zudem erster Ansprechpartner für die landwirtschaftlichen Betriebe bzw. die Maschinenringe und die Lohnunternehmen bei technischen Problemen der projektbezogenen Arbeiten.

Das Teilprojekt führt zudem eigenständig einen Vergleich der Systeme zu precision agriculture am Beispiel der ortsdifferenzierten Düngerapplikation durch. Die verschiedenen bisher auf dem Markt befindlichen Systeme sollen auf ihre Praxistauglichkeit untersucht werden. Dabei stehen die flächengenaue Ausbringung, die Funktionssicherheit, die Betriebssicherheit sowie die Einfachheit der Bedienung im Vordergrund.

Die Technik wird in den Landwirtschaftsbetrieben des Projektverbundes eingesetzt und betreut. Bei großflächigem Einsatz in der Praxis werden die verschiedenen GPS-Techniken auf die Handhabung der Geräte sowie deren Funktionsfähigkeit getestet. Die Abstimmung von Elektronik, Software und Technik wird vorgenommen und mit den produktionsorientierten Teilprojekten sowie denen zur Softwareentwicklung erörtert.

Die Untersuchungen werden auf den Pilotbetrieben des Projektverbundes bei der Ausbringung von Mineraldünger (Gülle, Festmist und Kompost) durchgeführt.

### 2.1.2 Durchgeführte Maßnahmen

Folgende Schwerpunkte wurden im TP I-1 Technikvergleich gesetzt:

- Fachlich-technische Betreuung
  - ⇒ Unterstützung bei Technikausrüstung und -akquise
  - ⇒ Problemanalyse und -lösung beim Einsatz der Technik zu precision agriculture auf den Betrieben

- ⇒ Erfahrungsberichte aus den Praxisbetrieben als Diskussionsgrundlage mit Herstellern und Anwendern
- ⇒ Unterstützung und Koordination der Institute, Hersteller und Anwender von Prototypen und Forschungseinheiten im Praxiseinsatz, z.B. Maisaussaat, Ertragsmessung Feldfutter
- Technikvergleich Düngerstreuer / GPS-Empfänger: Ermitteln der Arbeitsqualität durch
  - ⇒ Stichprobenmessungen im Praxiseinsatz
  - ⇒ Vergleichsmessungen unter reproduzierbaren Bedingungen.

### 2.1.3 Zielerfüllung/-erreichung

Das Teilprojekt I-1 Technikvergleich hat alle im Projektantrag beschriebenen Aufgaben bearbeitet, mit der Einschränkung, dass die Untersuchungen zur Düngerverteilung zunächst nur für den Bereich des Mineraldüngers durchgeführt werden konnten. Der Erfolg der Maßnahmen ist allerdings unterschiedlich zu bewerten.

Die fachlich-technische Betreuung wurde allgemein als notwendig erachtet und gut von den Anwendern angenommen. Die großen Distanzen zwischen den Einsatzorten waren jedoch ein Grund dafür, dass der Einsatz der Technik mit nur einer Projektbearbeiterin nicht überall mit der gleichen Intensität begleitet werden konnte. Trotz Betreuung konnte ein reibungsloser Ablauf bzw. problemlose Kompatibilität der Technik häufig nicht sichergestellt werden, da Entwicklung und Standardisierung der Technik zu precision agriculture noch deutliche Lücken aufweisen. Der Technikvergleich wurde sehr umfassend für die Bereiche Mineraldüngerstreuer und GPS-Empfänger durchgeführt. Die Ergebnisse weisen klar auf Schwachstellen der Systeme hin. Diese wurden dokumentiert und veröffentlicht sowie mit Herstellern diskutiert.

### 2.1.4 Übersicht und Zusammenfassung

Die Hauptaufgaben des Teilprojektes I-1 lauten:

- Fachlich-technische Betreuung auf den Betrieben sowie
- Technikvergleich hinsichtlich Abstimmung der Systeme, Funktionalität und Arbeitsqualität mit den Schwerpunkten Düngerstreuer und GPS-Empfänger.

Im Rahmen der fachlich-technischen Betreuung wurden Probleme mit der PA-Technik beim Praxiseinsatz in Zusammenarbeit mit Anwendern und Industrie bearbeitet. Aus dieser Dokumentation wurde eine **Anforderungsliste** an die PA-Technik erstellt. Diese Anforderungsliste soll Auskunft darüber geben, in welchen Bereichen Weiterentwicklungen besonders dringlich sind. Sie kann außerdem potentiellen Interessenten für PA helfen, mögliche Probleme schon im Vorfeld zu vermeiden. Sie ist Grundlage, um den Dialog mit der Industrie zu vertiefen und die Forderungen der Anwender an die PA-Technik zu unterstreichen.

Die **technische Betreuung der Betriebe** hat sich als essentiell erwiesen. Die Mehrzahl der Betriebe wird auch nach der Projektlaufzeit auf Unterstützung durch externe Experten angewiesen sein.

Über zwei Einsatzperioden wurde unter anderem der Einsatz des **Einzelkornsägerätes** zur Mais-saat betreut. Hier kam es trotz intensiver Vorarbeit und Probeläufen mit den beteiligten Herstellern nicht zu der gewünschten Variation des Pflanzenabstandes.

Ein weiterer Schwerpunkt war der Einsatz des Messkrümmers zur **Ertragsmessung im Feldhäcksler** der Universität Bonn bei der Futterernte in Gras und Mais. Die Zusammenarbeit verlief sehr erfolgreich, eine Ertragskartierung ist damit grundsätzlich möglich, erste marktreife Systeme werden inzwischen angeboten.

Zum **Technikvergleich** wurden im Verlaufe des Projektes intensive Prüfungen bezüglich der Arbeitsqualität von Schleuderstreuern in Kombination mit verschiedenen Stickstoffdüngern durchgeführt.

Allgemeine **Einstellregeln** der Streuer für teilflächenspezifische Düngung können leider nicht wie angestrebt abgeleitet werden, dazu ist vor allem der Einfluss der physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Düngersorten zu groß. Im Jahr 2001 wurde die Prüfung der Arbeitsqualität eines **Pneumatik-Auslegerstreuers** abgeschlossen. Hierbei zeigten sich ebenfalls Probleme in der Arbeitsqualität.

Ein **Workshop** zum Thema „räumliche Auflösung der teilflächenspezifischen Düngung“ wurde in Zusammenarbeit mit dem DIAS durchgeführt. Nach den Expertenmeinungen liegt die benötigte Auflösung im Minimum bei 10m x 10m, um die wichtigsten Einflussparameter der N-Düngung anzusprechen. *Es zeigt sich, dass im Bereich Düngerstreuer die Reduzierung der Arbeitsbreite bzw. Regelung von Teilbreiten notwendig werden, um kleinräumige Variationen anzusprechen.* Weiterentwicklungen sind hierzu unbedingt notwendig. **Simulationsrechnungen**, die von K. Persson, DIAS / RCB - angeregt durch den Workshop - durchgeführt wurden, zeigen den erheblichen Einfluss der Ausdehnung des Streukegels in Quer- und Längsrichtung auf die Möglichkeiten, kleinräumige Variationen anzusprechen (Persson 2002).

Zur Prüfung von **D/GPS-Empfängern** auf Zuverlässigkeit, Wiederholgenauigkeit und Positionierungsqualität wurden wiederholt statische und dynamische Messungen über einen Zeitraum von 24h durchgeführt. Es zeigt sich, dass das Korrektursignal (DGPS) den Einfluss der Satellitenkonstellation (HDOP-Wert) auf die Positionierungsgenauigkeit verringert. Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus Unterschiede zwischen den Empfängern verschiedener Qualitätsklassen. Die *Empfangsstabilität* scheint sich konträr zur möglichen *Genauigkeit* der Position zu verhalten. *Es wird der Einsatz von DGPS-Empfängern höherer Qualität empfohlen, besonders für den Einsatz von Lenkhilfen.*

Die Kooperation mit dem DIAS, RCB, Horsens, DK im Bereich der Arbeitsqualitätsprüfung von Düngerstreuern und GPS-Empfängern war sehr fruchtbar. Synergieeffekte in der Zusammenarbeit sowie der Know-how Transfer haben die Arbeit enorm beschleunigt und die Qualität der Ergebnisse positiv beeinflusst.

## **2.1.5 Technikbetreuung, Einleitung und Problemstellung**

Das Teilprojekt **fachlich-technische Betreuung** dient der Koordination zwischen Landwirten, Projektteilnehmern und Herstellern von Maschinen, Elektronik und Software. Zur Gewährleistung eines reibungsarmen Ablaufes und um die Motivation zum Einstieg in die neue Technik zu

fördern, wurde den Pilotbetrieben im Verbundprojekt *pre agro* während der Projektlaufzeit Unterstützung bei der Auswahl und beim Einsatz der neuen Technik geboten. Hierzu wurden in engem Kontakt sowohl mit den Betrieben als auch mit der entwickelnden Industrie die Bedürfnisse der Bediener und deren Forderungen an die Technik formuliert und Lösungen für Probleme angegangen. Gemeinsam mit Anwendern und Herstellern wurden Lösungen gesucht und durch das TP dokumentiert. Darüber hinaus war Unterstützung und Betreuung beim Einsatz von Forschungseinheiten bzw. Prototypen notwendig.

Zur Betreuung der Betriebe wurden die Einsätze der differenzierten Applikation - soweit möglich – vor Ort begleitet. Probleme wurden möglichst direkt angegangen oder an Hersteller weitergeleitet. Viele Detailfragen und organisatorische Arbeiten wurden telefonisch bearbeitet, um eine gute Erreichbarkeit und ständige technische Betreuung der Betriebe zu gewährleisten. Aktiv wurde zu Beginn der Projektlaufzeit von Seiten des Teilprojektes I-1 die Akquise von Angeboten und technischer Unterstützung durch Industriepartner angegangen. Die Pflege von tagesaktuellen technischen Informationen und entsprechenden Kontakten nahm sehr viel Zeit in Anspruch. In diesem Zusammenhang wurden und werden Herstellerfirmen, Tagungen im In- und Ausland, Ausstellungen und Weiterbildungsmaßnahmen im weitesten Sinne besucht.

#### **2.1.5.1 Technikausstattung der Betriebe**

Zu Projektbeginn war die technische Ausstattung der Betriebe zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung sehr unterschiedlich. Es musste gewährleistet werden, dass alle Betriebe hinreichend ausgestattet wurden, um das Pflichtprogramm differenzierte Winterweizensaat, N-Düngung und Ertragskartierung im Mähdrusch absolvieren zu können. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde zusätzlich die Halmstabilisatorgabe in das Pflichtprogramm aufgenommen, wofür nicht alle Betriebe die entsprechende technische Ausstattung boten. Die Technikausstattung ist in der Tabelle 2.1-1 dargestellt. Änderungen fanden und finden fortlaufend statt, da sich die Technik schnell weiterentwickelt. Es wurden viele Interimslösungen umgesetzt, um die differenzierten Applikationen zu garantieren, diese wurden bei entsprechenden Neuentwicklungen umgebaut, ergänzt oder ausgetauscht.

Tab. 2.1-1 : Technikausstattung für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung auf den *pre agro*-Pilotbetrieben, Stand 2/02. Die unterschiedlichen Ausstattungsniveaus sind farblich markiert, die Komponenten unterschiedlicher Hersteller sind dabei nicht oder nicht in vollem Umfang kompatibel.

Standort	Ernte	Düngung	Saat	Pflanzenschutz	Bodenbearbeitung
Baasdorf	2 x Claas / Claas	2 x Amazone / Fieldstar	Accord / LH Agro + GeoTec	2 x Inuma / LH Agro + GeoTec	Amazone/Fieldstar
	2 x Claas / LH Agro	Amazone / Waage / Fieldstar	Horsch / LH Agro / GeoTec '01	Inuma / Müller / Fieldstar IV ab '02	
	3 x MF / Fieldstar	2 x MAT Güstrow / Falcon	Horsch / Drillmager / Fieldstar IV	Inuma / LH / Fieldstar ab '02	
Groß Twülpstedt	Claas / Claas	Amazone / Fieldstar IV	Amazone / Fieldstar IV	Damman / Fieldstar IV	Amazone/Fieldstar IV
Kassow	2 x Massey Ferguson/ Fieldstar	Bogballe / LH Agro / WTK	Amazone / Fieldstar '99	Danfoil / LH Agro	LBS agrocom
	1 x Claas / Claas	MAT Güstrow / AgChem / Falcon	Horsch / LH Agro + Fieldstar ab '00		BUS intern Claas
Landshut	Claas / Claas	Rauch / LH Agro / WTK	Accord / LH Agro	Rau / LH Agro geplant	LBS Fieldstar
	Claas / LH Agro				BUS intern Agco
Raesfeld	3 x Claas / LH Agro	Inuma / LH Agro (Flüssig)	Accord / LH Agro	Inuma / LH Agro	Fieldstar IV Prozessdaten
	Messkrümmer UNI Bonn EK Häcksler	Wienhoff / Agrocom (Gülle)	Kverneland-Kleine / Agrocom	Jacoby / Agrocom	Nachrüstung Komplett
Raguhn	2 x Claas / Claas	AgChem / Falcon	Lemken / LH Agro	Dammann / LH Agro	RS232 Bi-direktional
	1 x Claas / LH Agro				Norti / Falcon
	2 x NewHolland / LH Agro	Rauch / LH Agro			
	1 x Case / LH Agro				
1 x MF / Fieldstar					
Thumby	2 x Claas / Agrocom	Amazone / Agrocom bis '01 Rauch / Agrocom ab '02	Rabe / RDS / Agrocom	2 x Dammann / Agrocom	
Zeilitzheim	Claas / Agrocom	Amazone / Agrocom	geplant EKS Amazone / Fieldstar IV	Rau / Müller / Fieldstar IV geplant	
	ZR EK Holmer / Ing. Rottmeier	Amazone / Fieldstar IV ab 02			

### Abstimmung der Systeme

Bedingt durch die Tatsache, dass die Landwirte entsprechend der Kompatibilität mit vorhandener Technik entscheiden mussten, welche PA-Technik angeschafft wird, ergab sich ein sehr breites Spektrum an technischen Lösungen mit vielen Individuallösungen, vgl. Tabelle 2.1-1. Hier sei besonders die Farbgebung der Legende erwähnt, die darstellt, wie viele verschiedene Lösungen auf unterschiedlichen „Ausbaustufen“ im Projekt eingesetzt wurden. Dadurch wird in den Projektbetrieben ein Querschnitt durch die existierende PA-Technik repräsentiert, leider hat dies im praktischen Einsatz für enorme Probleme gesorgt.

### Empfehlungen für die Praxis zur Systemwahl und Einstellungshilfen

Aufgrund der mangelnden Kompatibilität vieler Komponenten unterschiedlicher Systeme muss der Kunde vor allem darauf achten, dass er ein System kauft, das zur bereits vorhandenen Technik passt. Zur Kaufbedingung sollte z.B. eine Lauffähigkeitsgarantie gemacht werden. Auf die Preispolitik bei Software-Updates u.ä. muss geachtet werden.

Einstellhilfen können nur ganz allgemein formuliert werden. Es ist unabdingbar, die Arbeitsqualität zu prüfen und durch regelmäßiges Einstellen und Kalibrieren der Geräte zu gewährleisten, dass sinnvolle Informationen gespeichert werden.

### 2.1.5.2 Leistungsanforderungen an die Technik

Aus den Kontakten zu Anwendern und Herstellern zeigt sich deutlich, dass technische Probleme oder die Angst davor zu den größten Hindernissen bei der Einführung von PA zählen. Die Anwender sind durch viele unterschiedliche Produkte und Meinungen stark verunsichert. Die Mehrzahl der Projektbetriebe gibt an, heute ohne externe Unterstützung PA nicht umsetzen zu können. Deshalb sollte es gemeinsames Ziel sein, Fehlerquellen wie Inkompatibilitäten in Software und Hardware zu eliminieren, um precision agriculture zu etablieren und neue Anwender zu gewinnen.

Pioniere, die als erste in die neue Technik investiert haben, sind mit besonderen Einstiegsproblemen konfrontiert, sie müssen von Industrie und Forschung gleichermaßen unterstützt werden, damit sie als Multiplikatoren für das Prinzip precision agriculture erhalten bleiben, es weiterverfolgen und -verbreiten.

Im jetzt abgeschlossenen Projekt kam es wegen mangelnder Kompatibilität immer wieder zu Problemen. Rüstzeiten verlängern sich, Individuallösungen sind notwendig, die bei jedem Software-Update wieder neu angepasst werden müssen. Schnelllebigkeit der Software tut ein Übriges, um den Markt durchwachsen zu halten. Aufgrund der Praxiserfahrungen auf den Projektbetrieben ergeben sich folgende Leistungsanforderungen an die Technik, um eine breitere Einführung von precision agriculture zu ermöglichen und zu fördern:

#### Hardware

- Kompromisslose **Kompatibilität** für alle Komponenten. Die Umsetzung der ISO Norm 11783 als Fortführung des LBS, DIN-Norm 9684 muss schnellstmöglich den Ankündigungen folgen.  
Der Anwender möchte seine Maschinen nach den mechanischen Merkmalen entsprechend seinen Bedürfnissen auswählen können, ohne Rücksicht auf Elektronikkompatibilitäten nehmen zu müssen.
- Einfache Bedienung der Technik, einheitliche Bedienelemente für verschiedene Maschinen auf einem Betrieb, einfaches Umsetzen der mobilen Elektronikbausteine.
- Die **Handhabung** muss vereinfacht werden. Hier bieten sich z.B. (semi-)automatische Kalibriersysteme an, um den Arbeitsaufwand zu reduzieren.
- **Kontrollmöglichkeiten** müssen weiterentwickelt werden. Es fehlen vor allem unabhängige Sensoren zur Erstellung echter ‚as-applied‘-Karten.
- Klare Angaben der Hersteller zu den Möglichkeiten der Technik; es gibt nach wie vor große Unsicherheiten bei tatsächlichen und potentiellen Anwendern.
- Die **Zuverlässigkeit** der Elektronikkomponenten muss weiter verbessert werden.
- Zuverlässiges Referenzsignal (DGPS) flächendeckend ohne Steigerung der Kosten.
- **Austauschbarkeit** der Elektronik garantieren, Updates, Nachfolgeversionen garantieren.

- **Ertragskartierungssysteme** für weitere Fruchtarten werden benötigt, um die gesamte Fruchtfolge abdecken zu können.
  - Hohe **Arbeitsqualität** der Maschinen muss gewährleistet werden; nur präzise Maschinen können precision agriculture ausführen. Bis heute ist die PA-Technik i.d.R. eine Anpassung von herkömmlicher Technik an die neuen Bedingungen. Weiterführende Entwicklungen speziell für teilflächenspezifische Variation werden benötigt, um Probleme beim teilflächenspezifischen Einsatz zu beheben.
  - Service / Erreichbarkeit der Herstellerfirmen in der Saison muss unbedingt gewährleistet sein.
- ⇒ **Einfache Bedienung, volle Kompatibilität, hohe Arbeitsqualität!**

### Software

Aufgrund der Praxiserfahrungen auf den Projektbetrieben ergeben sich folgende Leistungsanforderungen an die Softwaregestaltung, um eine sinnvolle und hilfreiche Unterstützung für den Anwender zu erreichen:

- **Datenmanagement** vereinfachen / standardisieren.
- **Zuverlässigkeit** und **Vergleichbarkeit** der Daten unterschiedlicher Hersteller müssen gewährleistet werden. Entwickeln einheitlicher **Filter** und **Interpolationsmethoden**.
- Einheitliche **Datenformate**, Rastergrößen etc. müssen für den Einsatz in der Landwirtschaft unbedingt definiert werden.
- Durchgängig kompatible Datenformate für alle in der Landwirtschaft eingesetzte Software werden benötigt, um eine Durchdringung des Marktes zu gewährleisten.
- Benötigte Genauigkeiten müssen für unterschiedliche Einsätze definiert werden, z.B. Genauigkeit der Positionierung.
- Kompatibilität der GIS-Programme zu anderen Softwareprodukten z.B. Management / Logistik / Betriebswirtschaft wird vermisst. Da die preagro-Softwaremodule in bestehende GIS-Produkte integriert werden, müssen auch hier Kompatibilitätsprobleme befürchtet werden.
- Die Informationen aus Ackerschlagdateien, Wetterstationen, Ertrags- und Applikationskarten (GIS-Programmen) müssen innerhalb eines Betriebes und zwischen den Produkten verschiedener Hersteller austauschbar sein.
- Die Bedienung der Software zur Applikationskartenerstellung, Ertragskartierung und Schlagvermessung muss einfach und anschaulich sein.
- Zu den Sollwertkarten der differenzierten Applikation müssen als Kontrolle immer auch Ist-Werte zurückgeschrieben werden.
- Inhaltliche Software-Pakete für die Umsetzung der teilflächenspezifischen Daten zur Ermittlung der benötigten Ausbringungsmenge und somit die Erstellung von Applikationskarten für Düngemittel, Saatgut und Pflanzenschutzmittel wie z.B. die „preagro-Module“ müssen in bestehende Software eingebettet werden.
- Die Auswertung der Daten muss vereinfacht und beschleunigt werden, das Datenmanagement in einer angemessenen Zeit durchführbar sein.

⇒ **Einheitliche Software- und Datenformate, offene Module, integrierte Lösungen!**

### 2.1.5.3 PA-Technik im Praxiseinsatz, Probleme mit der in pre agro eingesetzten Technik

Problembehandlung beim Praxiseinsatz der Technik. Dazu wurden Industrie / Hersteller verstärkt mit den auftretenden Problemen sowie - wenn möglich - Lösungsansätzen konfrontiert. Hierzu liefert das TP I-1 „Fachlich-technische Betreuung“ eine **Dokumentation** der aufgetretenen Probleme mit der PA-Technik im pre agro-Praxiseinsatz. Diese Fehlerliste ist nicht dazu gedacht, abschreckende Wirkung zu erzeugen, sondern den Einstieg für neue Praktiker zu erleichtern und die Hersteller mit den Problemen der Praktiker zu konfrontieren. Deutlich wird dabei, dass die meisten Probleme keine Einzelfälle sind. Auch wenn durch die zufällige Verteilung der eingesetzten Geräte keine statistische Auswertung durchgeführt werden kann, geben die auftretenden Problemhäufungen Aufschluss über Schwachstellen. Es sollte bei der Betrachtung der Fehlerliste berücksichtigt werden, dass aufgrund der freien Wahl der Technik durch die Pilotbetriebe nicht alle Hersteller von PA-Technik im pre agro-Projekt vertreten sind. Eine Nichtnennung auf dieser Liste kann somit nicht gleichbedeutend sein mit dem fehlerfreien Einsatz der entsprechenden Komponenten.

#### 2.1.5.3.1 Ertragskartierung

Das pre agro-Projekt konzentriert sich auf den Anbau von Winterweizen, somit steht Mähdrusch-Ertragskartierung im Vordergrund. Um Ertragsdaten für die Fruchtfolge zu erhalten, werden zusätzlich sowohl im Häcksler als auch bei der Hackfruchternte Ertragsmesssysteme benötigt.

#### Mähdrescher

- Beim Einsatz mehrerer Mähdrescher auf einem Schlag, davon 2 Stück mit Ertragssensorik der Firma Dronningborg / Fieldstar, wurden erhebliche Unterschiede in der Kalibrierung festgestellt (+ 15 % / – 15 %), die Auswertung der Erntedaten für diesen Schlag wird somit sehr schwierig.
- Teilweise erhöhte Ertragswerte bei Hanglage deuten daraufhin, dass die Messtechnik von Claas / agrocom (Volumetrisches Messprinzip) hier noch eine Schwachstelle hat. Für die Analyse der Daten sollten demnach auch die Information über die Höhe berücksichtigt werden.
- Bei der Ertragskartierung im Raps (kein Projektschwerpunkt) mit den Sensoren der Firma Claas / agrocom wurden zu große Ertragswerte gemessen. Die Lichtschranken der Ertragsensoren wurden von anhaftenden Erntegutrückständen teilweise abgedeckt.
- Bei der Ertragssensorik der Firma LH-Agro waren unterschiedliche Kalibrierwerte im Winterweizen für die Jahre 1999 und 2000 notwendig. Die in den 3 Vorjahren gewonnenen Kalibrierwerte ergaben zur Ernte 99 sehr gute Genauigkeiten von 2%-3%, sie konnten jedoch nicht weiterverwendet werden, sondern mussten gelöscht (zurückgesetzt) und neue Werte eingegeben werden. Die Herstellerempfehlung lautet, die Kalibrierwerte für eine Fruchtart von Jahr zu Jahr zu optimieren, ein Rücksetzen der Kalibrierwerte bedeutet auch gleichzeitig

einen Neustart der Genauigkeitsoptimierung. Ein kontinuierliches Fortschreiben der Kalibrierwerte muss hier gewährleistet werden.

- Mehrere Feuchtesensoren der Firma LH-Agro sind ausgefallen und mussten ausgetauscht werden.
- Ein Ertragssensor von einem Nachrüstsatz der Firma LH Agro ist in den Elevatorschacht gefallen. In einem anderen Einsatzfall hatte sich ein gelöstes Kabel im Schwungrad verfangen und den Sensor zerstört. Der Einbau von Nachrüstsätzen muss mit größtmöglicher Sorgfalt durchgeführt werden.
- Die Vergleichbarkeit der Ertragsdaten von verschiedenen Messsystemen unterschiedlicher Hersteller ist aufgrund der internen Datenverarbeitung (Filter, Interpolation) schwierig.

### **Häcksler**

Inzwischen gibt es erste marktreife Lösungen für die Volumenstrommessung im Häcksler. Während der Projektlaufzeit waren keine (funktionierenden) Ertragsmesssysteme für Häckselgut auf dem Markt. Auf dem Standort Raesfeld wurde eine Forschungseinheit der UNI Bonn (Schmittmann, Kromer, Weltzien 2001) erfolgreich zum Einsatz gebracht.

Trotz intensiver Bemühungen von Seiten der Anwender konnte das mit Ultraschallsensoren arbeitende Ertragsmesssystem der Firma TSI nicht die versprochene Funktionalität erfüllen. Es wurde schließlich ohne positives Ergebnis wieder ausgebaut.

*Hier gibt es nach wie vor Entwicklungsbedarf, besonders im Hinblick auf die Frage nach dem Energetischen Futterwert!*

### **Hackfruchternte**

Massenermittlung ist das vornehmlich eingesetzte Messprinzip zur Ertrags Erfassung bei Hackfrüchten. Eine Wägung kann mit ausreichender Genauigkeit durchgeführt werden, Probleme bereiten dabei mitgewogene Verunreinigungen des Gutes. Ertragsmesssysteme für Hackfrüchte werden bisher nur durch den Betrieb Baasdorf (Kartoffeln, Fa. Grimme) und am Standort Zeilitzheim (Rüben) durch TU München eingesetzt.

#### **2.1.5.3.2 Differenzierte Aussaat**

##### **Sämaschinen Volumendosierte Saat**

Nachdem die Sätechnik bereits 1999 zur Aussaat (Erntesaison 00) eingesetzt wurde, waren die technischen Anlaufschwierigkeiten weitgehend ausgeräumt. Bei der Saat zur Erntesaison 01 traten überwiegend Probleme mit der Software und deren Umsetzung in die Praxis auf.

- Programmierfehler bzw. fehlerhafte Konvertierung von einem Programm in das andere sind mehrfach vorgekommen. Hier müssen unnötige Fehlerquellen durch Vereinheitlichung der Datenformate eliminiert werden.
- Bei Sämaschinen der Firma Accord mit elektronischer Steuerung ‚ESA‘ in Kombination mit unterschiedlichen Bordcomputern kam es wiederholt zu Ausfällen beim Neustart des Systems. Im Schlag kam es immer wieder zu Fehlstellen bei der Saat, hervorgerufen wahrschein-

lich durch GPS-Signalausfälle. Hier muss unbedingt die Zuverlässigkeit des Systems verbessert werden.

- Nach wie vor schreiben nicht alle Systeme ,as-applied'-Karten zurück. Beispiel: Sämaschine der Firma Rabe (RDS Jobcomputer) mit Claas / agrocom ACT in serieller Anbindung.
- Bei der Aussaat mit entsprechenden Maschinen kann sowohl die Saatstärke als auch die Unterfußdüngung variiert werden (D.A.T. von Amazone oder Drillmanager von Horsch). Diese Funktionen werden allerdings von den gängigen Bordcomputern noch nicht unterstützt.

### **Einzelkornsämaschine**

Die angestrebte differenzierte Einzelkornsaat bei Mais auf dem Standort Raesfeld hat aufgrund wiederholter technischer Probleme nicht stattgefunden.

#### **2.1.5.3.3 Differenzierte Feststoffdüngung**

Im Frühjahr 2000 und 2001 erfolgte die differenzierte Stickstoffdüngung. Einige der aufgetretenen Probleme müssen als Anlaufschwierigkeiten bei Neuanschaffungen bewertet werden.

- Auch hier gilt: unbedingt müssen vermeidbare Fehlerquellen aus dem Arbeitsablauf eliminiert werden wie z. B. das Konvertieren von Datenformaten.
- In einem Fall ist der Dünger feucht geworden und hat die Austrittsöffnung verstopft. Die auf der ,as-applied'-Karte gespeicherte Schieberposition gibt nun keinen Anhaltspunkt über die tatsächlich ausgebrachte Düngermenge. Für diesen oder ähnliche Fälle wird ein unabhängiger Sensor für die Kontrolle der Ausbringmenge benötigt. Erhältlich ist Sensorik mit Wiegerahmen oder hydr. Leistungsmessung.
- Probleme bereiteten der Firma Amazone 2 defekte Eeproms im Jobcomputer.
- Ein bestellter LBS-Nachrüst-Satz für den Schlepper wurde von der Firma agrocom mit falschen Komponenten und falscher Bedienungsanleitung ausgeliefert, was zu Verzögerungen im Anbau und schließlich zu nicht erfolgter teilflächenspezifischer Applikation führte.
- In zwei Fällen war die Software (Bedienmaske) für das Anbaugerät bei Auslieferung des ACT von agrocom nicht richtig eingestellt oder nicht aufgespielt.
- Die Serviceleistungen der Firma agrocom wurden von den Betrieben bemängelt. Die Erreichbarkeit in Notfällen konnte nicht gewährleistet werden.
- Bei einem ca. 8 Jahre alten Bordcomputer der Firma AgChem traten im Jahr 2000 Probleme mit der Datumsumstellung auf. Als Zumutung wurde das Angebot der Firma AgChem zum Update empfunden, die Maschine sollte für ca. 40.000,00 DM mit neuer Elektronik ausgerüstet werden.
- Ein Betrieb, der gerne einen Streuer der Firma Rauch kaufen wollte, hatte LBS-Kompatibilität als Vorgabe, es wurde daraufhin ein Streuer von Amazone gewählt. Kompatibilitätsprobleme verhindern auch hier eine freie Auswahl entsprechender PA-Technik.

#### **2.1.5.3.4 Differenzierte Applikation von Flüssigkeiten**

##### **Feldspritze**

Die Technik zur differenzierten Applikation von Spritzmitteln ist noch nicht auf allen Standorten eingesetzt worden. Geräte für die agronomisch sinnvolle Ansteuerung über On-line-Sensoren (zu Ergebnissen vom Einsatz der Forschungseinheit des ATB vgl. TP III-5) sind noch nicht am Markt verfügbar. Im Teilprojekt I-1 wurde der Einsatz von Feldspritzen zur Flüssigdüngerapplikation und Halmstabilisatorgabe begleitet. Dabei konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Aufgrund des begrenzten Regelbereiches musste zum Erreichen minimaler bzw. maximaler Ausbringmengen bei einer Inuma-Spritze die Vorfahrtgeschwindigkeit angepasst werden.
- Durch den Jobcomputer von LH-Agro wurden auf einer der Inuma-Feldspritzen Verzögerungen im Ansprechverhalten der Regelung beobachtet.

##### **Weitere Technik**

Auf dem Standort Raesfeld wurde ein Güllefass der Firma Wienhoff zur teilflächenspezifischen Applikation angeschafft. Das System schreibt keine ‚as-applied‘-Karten zurück.

Auf zwei Betrieben (keine *pre agro*-Projektschläge) wurde ein Gerät zur Injektionsdüngung zum Einsatz gebracht. Die Zuverlässigkeit der Mechanik (starker Verschleiß der Spornräder) lässt noch zu wünschen übrig (vgl. TP III-4).

#### **2.1.5.3.5 GPS-Empfänger**

Im Projekt werden auf Grund der höheren Genauigkeit ausschließlich D/GPS-Empfänger eingesetzt. Darüber hinaus wird seit der Abschaltung der Selective Availability (s/a) durch das amerikanische Militär der Einsatz von reinen GPS-Empfängern ohne Korrektursignal diskutiert. Die Genauigkeiten der dynamischen Positionierung liegen damit jedoch nur bei ca. 10 m, was als nicht ausreichend eingeschätzt wird.

Die Empfangsqualität der kostengünstigen/kostenlosen Korrektursignale auf Kurz- oder Langwelle war lokal sehr unterschiedlich. Die Empfangsqualität der kostenpflichtigen Korrektursignale, ausgestrahlt über Satellit, ist deutschlandweit gleichbleibend gut.

Hauptfehlerquellen beim D/GPS-Empfang waren Abschattung durch südlich gelegene Waldkanten oder Höhenzüge sowie exogene Störgrößen wie z.B. Gewitter.

Durch Gewalteinwirkung fiel ein Empfänger aus, ansonsten ist die Zuverlässigkeit der Geräte sehr gut.

Werden verschiedene D/GPS-Empfänger (mit unterschiedlichen Genauigkeiten) eingesetzt, können Positionierungsunterschiede auftreten (vgl. Kap. 2.1.6.2).

#### **2.1.5.3.6 Software**

GIS-Programme sind komplexe Werkzeuge, die Anwendung ist vielschichtig, auftretende Fehler und Probleme sind für den Laien oft nicht nachvollziehbar oder treten aufgrund von Unwissen-

heit auf. Die im Projekt bearbeiteten Daten gehen durch sehr viele Stationen, dadurch treten viele Probleme besonders stark zum Vorschein, die zur Schwachstellenanalyse für den täglichen Umgang berücksichtigt wurden:

- Fehler aufgrund von Konvertierungen der Georeferenzdaten von Format „WGS84“ (GPS-Datum) nach „Gauß-Krüger“ (topographische Karten) oder Umwandeln von Vektor- (Punkt-daten) in Rasterdaten (Pixel = Flächenhafte Daten).
- Probleme beim Digitalisieren von topographischen Karten. Versatz der Positionsdaten um bis zu 30 m.
- Jahr-2000-Datumsproblem bei der LH-Agro Ertragskartierung – die Software Quickyields konnte die Daten nicht mehr auslesen.
- Jahr-2000-Datumsproblem des Falcon (AgChem) Terminals.
- Da die preagro-Softwaremodule in bestehende Softwareprodukte eingefügt werden, müssen auch hier Kompatibilitätsprobleme befürchtet werden.
- Kompatibilität der GIS-Programme zu anderen Softwareprodukten z. B. Management / Logistik / Betriebswirtschaft wird vermisst.

#### **2.1.5.4 PA-Technik im Praxiseinsatz: Einzelkornsäugerät Mais**

Nachdem das EKS der Firma Kleine im Jahr 2000 ohne vorherige Funktionsprüfung ausgeliefert worden war und die Probleme in der Abstimmung der Computer ad hoc nicht lösbar waren, wurde im Jahr 2001 ein neuer Einsatz vorbereitet. Das Einzelkornsäugerät Multikorn Synchrodrive der Firma Kleine mit LBS-Anbindung an das Bedienterminal ACT von agrocom wurde vom LU Nagel auf dem Schlag Doorn eingesetzt. Die Aussaat erfolgte nach Applikationskarte. Eine direkte Kontrolle der Kornablage war aufgrund der Bodenverhältnisse nicht möglich. Im Vorfeld waren bereits Probeläufe und Gespräche mit den beteiligten Herstellern gelaufen.

#### **Ergebnisse und Diskussion**

Die Anzeige auf dem Bordterminal zeigte eine Variation der Samenabstände entsprechend der Applikationskarte zwischen 7 und 14 Samen/m<sup>2</sup> an. Nach der Ernte wurden die Pflanzen an 21 Probenahmepunkten gezählt und zusätzlich an 33 Kontrollpunkten (Abb. 2.1-1). Die Pflanzenzahl schwankt jedoch nur zwischen 8-10 Pflanzen/m<sup>2</sup> (Count: 33, Mean: 9, Maximum: 10, Minimum: 8) ohne Bezug zur Aussaatkarte. Demnach wurde trotz positiver Anzeige einheitlich gesät, das heißt die Aussaattechnik hat wiederum versagt.

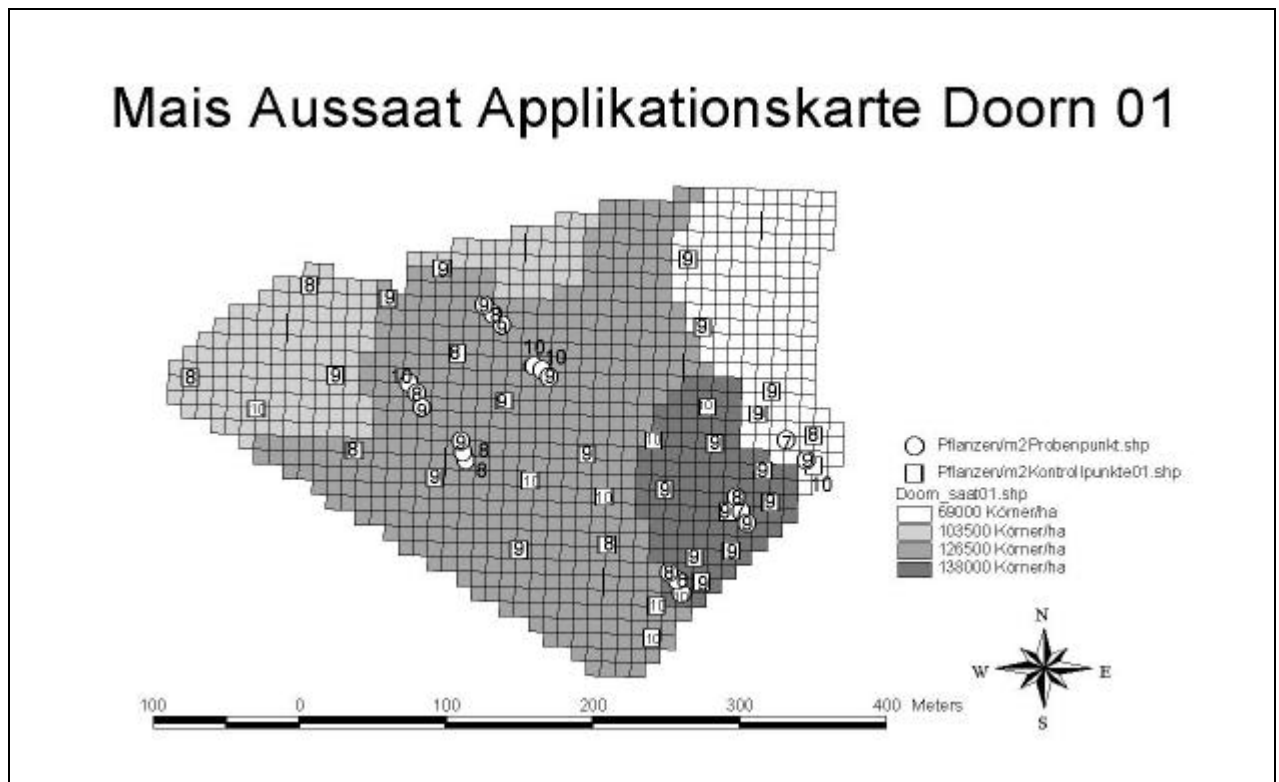


Abb. 2.1-1: Aussaatkarte Mais mit gezählten Pflanzen/m<sup>2</sup> an Probennahmepunkten und Kontrollpunkten, Schlag Doorn 2001

### Schlussfolgerung

Es zeigt sich, wie schwer die Entwicklungen im Bereich PA besonders im Zusammenspiel mehrerer Hersteller vorankommen. Im Bereich PA gibt es kaum Gewinnspannen, obwohl es sich um absolut hochwertige Technik handelt. Besonders in den Bereichen mit wenigen Anwendern kann aufgrund der geringen Stückzahl kaum investiert werden. Gerade diese Bereiche müssen aber gefördert werden, denn nur wenn der PA-Kreislauf geschlossen ist, wird sich das Gesamtsystem durchsetzen können.

#### 2.1.5.5 PA-Technik im Praxiseinsatz:

##### Messkrümmer der Universität Bonn zur Ertragsmessung auf dem Feldhäcksler zur Futterernte in Gras und Mais

Da zur Ertragsmessung im Feldhäcksler noch keine kommerzielle Lösung angeboten wird, wurde ein Kooperationsvertrag mit der Universität Bonn, Prof. Dr.-Ing. Kromer geschlossen. Gegenstand dieses Vertrages war es, dass auf preagro-Flächen mit dem LU Nagel die Erträge bei der Grasernte und im Mais (Silage) mit dem Messkrümmer der UNI Bonn teilflächenspezifisch erfasst werden. Dass es im Gegensatz zu Ertragskartierung in Mähdreschern heute noch keine kommerziellen Ertragskartierungssysteme im Feldhäcksler gibt, liegt u.a. an den erschwerten Bedingungen, hohe Durchflussgeschwindigkeiten bis zu 28 m/s und Durchsätze bis zu 40 kg/s sowie inhomogener Feuchtegehalt und Dichte.

## Material und Methoden Ertragsmessung Feldhäcksler

Eingesetzt wurde der Feldhäcksler Claas Jaguar 690<sub>SL</sub> von LU Nagel mit dem Messkrümmer der UNI Bonn in Raesfeld. Es wurden 3 verschiedene Ertragsmesssysteme installiert (Abb. 2.1-2). Messfrequenz war 100 Hz, als Referenz für den wahren Durchsatz wurde absätzig das Gewicht der Transportkarren für jede Wagenladung auf einer Fuhrwerkswaage (+/- 20 kg) ermittelt. Beim Entladen wurden Materialproben gezogen, um den Feuchtegehalt mittels Ofentrocknung zu bestimmen. Mit diesen Daten wird der Durchsatz berechnet.

- Ernte Gras, 13. Juni 01, Schläge Esch Rechts (Welsches Weidelgras) und Esch Mitte (Holl. Saatmischung), 38 - 50 % m.c.w.b.
- Ernte Silomais, 9. Oktober 01, Doorn1, Sorte Banguy

### Messung der Auflagehöhe unter den Presswalzen: 1 – Abb. 2.1-2

$$\dot{m} = h_{PW} \cdot n_{PW} \cdot p \cdot d_{PW} \cdot b_{PW} \cdot V_{theor} \quad \text{Schmittmann/Kromer, Bonn}$$

Unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Gutaufgabe im Einzugsmechanismus und daher einer gleichmäßigen Gutstromdichte wird die obere Presswalze proportional zur Auflagehöhe des Gutstromes angehoben. Zur Bestimmung des Gutstromes muss bei gegebener Einzugskanalbreite  $b_{PW}$  die Einzugs geschwindigkeit sowie die Auflagehöhe gemessen werden. Die Federauslenkung  $h_{PW}$  der oberen Presswalze wurde mit je einem Linearpotentiometer an beiden Hebeln gemessen. Die Einzugs geschwindigkeit  $n_{PW}$  (Drehzahl der unteren, festen Presswalze mit Durchmesser  $d_{PW}$ ) wurde über einen Reed-Kontakt gemessen.

### Messung des Volumenstromes im Auswurfkrümmer: 2 – Abb. 2.1-2

$$\dot{m} = \dot{V}_{Spout} \cdot V_{est} \quad \text{Schmittmann/Kromer, Bonn}$$

Zur Bestimmung des Volumenstromes  $V$  im Auswurfkrümmer wurde das Profil des Gutstromes mit einem Laserscanner-System gemessen. Der Laser ermittelt die Entfernung zum Gutstrom über die Laufzeit eines gepulsten Infrarot-Laserstrahles. Mittels eines rotierenden Spiegels überstreicht der Laserstrahl die Gutstromoberfläche quer zur Fließrichtung und ermittelt so die Kontur. Die Durchflussgeschwindigkeit wurde mit einem handelsüblichen Radar-Geschwindigkeitssensor gemessen. Über eine externe Prozessoreinheit LMI berechnet das System aus den beiden Datenquellen den Volumenstrom. Die Dichte wurde parallel durch die Messungen je Wagenladung geschätzt, so lässt sich aus dem Volumen- der Massenstrom bestimmen.

### Messung des Impulses durch den Massenstrom auf eine Prallplatte: 3 – Abb. 2.1-2

$$\dot{m} = v \int F \cdot dt \quad \text{Schmittmann/Kromer, Bonn}$$

Die Auswurfklappe wurde durch eine Prallplatte mit Kraftaufnehmer ersetzt, wie sie auch zur Ertragskartierung im Mähdrusch zum Einsatz kommt. Der Sensor besteht aus einer Prallplatte, die an einem DMS-Kraftaufnehmer befestigt ist. Die Oberfläche der Prallplatte hat einen nahezu konstanten Reibungsbeiwert. Aufgrund des Designs ist die Krafteinwirkung unabhängig vom Aufprallpunkt, dieser ändert sich mit der Höhe des Volumenstromes. Die Prallplatte wurde an einem Rahmen angebracht, der Winkel, verstellbar von 30° bis 60°, wurde auf 45° fixiert.

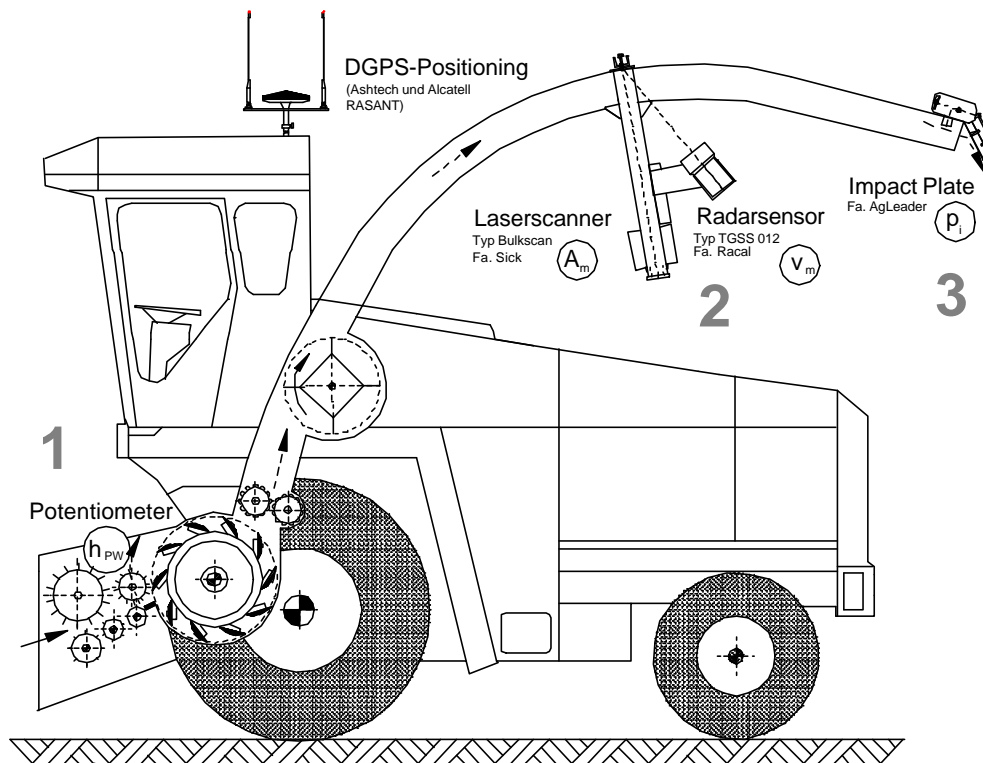


Abb. 2.1-2: Anbau des Messkrümmers mit den drei Ertragsmesssystemen am Feldhäcksler, Schmittmann / Kromer, Bonn

### Ergebnisse und Diskussion Ertragsmessung Feldhäcksler

Die Messungen erfolgten unter realen Feldbedingungen. Die Genauigkeit der Ertragsmesssysteme wurde für den Einsatz im Gras durch die Universität Bonn analysiert. Ergebnisse einer einfachen linearen Regression ergaben für die drei Ertragsmesssysteme im Verhältnis zur Referenzwägung sehr gute Korrelationen (**1**:  $r^2 = 0.95$ , **2**:  $r^2 = 0.97$ , **3**:  $r^2 = 0.95$ ). Der Materialdurchsatz schwankte zwischen 28,8 t und 57,6 t (Frischmasse) Gras pro Stunde. Die Systeme wurden stark von der Dichte des Gutes beeinflusst. Der Gutstrom durch den Feldhäcksler wurde nicht beeinträchtigt. Um das System zu vervollständigen, fehlt eine On-Line-Feuchtemessung, auch die Bestimmung der Dichte ist noch nicht endgültig gelöst.

Für die Weiterverarbeitung in *preagro* steht als Endprodukt die Ertragskarte im Vordergrund. Durch einen Ausfall des GPS-Empfängers während des Probelaufs im Gras konnte hier keine Ertragskarte erstellt werden. Für den Schlag Doorn ist eine Ertragskarte des Silomais in Vorbereitung. Hierzu bedarf es noch weiterer Bearbeitung der Daten durch die UNI Bonn.

### Schlussfolgerungen Ertragsmessung Feldhäcksler

Der Einsatz der Forschungseinheit mit drei Ertragsmesssystemen für Feldhäcksler zeigt vielversprechende Ergebnisse. Diese und andere Arbeiten wurden von Herstellern aufgenommen und erste marktfähige Lösungen der Volumenstrommessung entwickelt (Ehlert 1998). Die erzielten Erfolge lassen hoffen, dass diese Lücke im Precision Agriculture-Kreislauf bald geschlossen wird.

## 2.1.6 Technikvergleich

Für den Bereich **Technikvergleich** ist die Bewertung und Prüfung der eingesetzten Technik und somit das Ermitteln von optimalen Einstellparametern und Arbeitsqualitäten von übergeordnetem Interesse. Hierzu wurde - wie im Projektantrag festgelegt - das Hauptaugenmerk auf Mineraldüngerstreuertechnik, d.h. Zentrifugal- und Pneumatik-Auslegerstreuer gelegt.

Das Bewusstsein für die Notwendigkeit der Präzision bei Einstellvorgängen und Arbeitsqualität der Maschinen sollte darüber hinaus allgemein geschärft werden, denn sauber eingestellte und exakt arbeitende Maschinen sind die Voraussetzung für precision agriculture.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Prüfung von D/GPS-Empfängern, die als Basistechnologie zur Georeferenzierung alle Bereiche des precision agriculture betreffen.

Die Überprüfung der Arbeitsqualität bei der Aussaat durch das Teilprojekt III-2 „Bestandesführung“ ergab Standardabweichungen im Regelfall unter 10%. Grobe Fehler kamen durch falsche Grundeinstellung der Ausbringungsmenge zustande, auch hier ist das Abdrehen, d.h. das Kalibrieren der Maschinen, sehr wichtig.

### 2.1.6.1 Technikvergleich Düngerstreuer

**Stand der Technik** für teilflächenspezifische Düngung sind in der Regel Streuer, die sich im Standard / Konstantbereich bewährt haben und die aufgerüstet werden für/mit:

- **Positionierung** des Streuers: D/GPS-Empfänger
- **Dosierung** der Düngermenge entsprechend der Position:
  - ⇒ Bedien- und Steuereinheit zur Eingabe der Sollwerte / Applikationskarte
  - ⇒ Stellorgan zur Variation der Durchflussmenge im Arbeitsprozess
  - ⇒ Zusätzlich ist ein Kontrollsegment z.B. Wiegerahmen o.ä. wünschenswert.
- **Verteilgenauigkeit**, wird für teilflächenspezifischen Einsatz nicht speziell angepasst oder überwacht

Die getesteten Düngerstreuer sind für den deutschen und dänischen Markt typische Maschinen.

Die Variationskoeffizienten der Querverteilung liegen für die geprüften Maschinen bei konstanter Streumenge deutlich unter den im Normentwurf CEN (prEN 13789-1) geforderten 15%. Optimale Ergebnisse werden jedoch nur bei sorgfältiger Einstellung erzielt!

- Einstellungsparameter bei **konstanter Menge**:  
1 Einstellung: 1 Streuer, 1 Dünger, 1 Durchflussmenge
- Einstellungsparameter für die **teilflächenspezifische** Düngung:  
1 Einstellung: 1 Streuer, 1 Dünger, **alle** Durchflussmengen

Das bedeutet die Optimierung der Einstellung wird schwieriger, gleichzeitig wird die optimale Einstellung noch wichtiger für ein zufrieden stellendes Ergebnis!

## Methoden zur Prüfung und Analyse der Arbeitsqualität

- ⇒ *Standard*: Dosierung / Querverteilung
- ⇒ *Teilflächenspezifisch*: Dosierung / Querverteilung / Längsverteilung / Simulation Gesamtdüngerverteilung

Bisher war es für Standardapplikationen (konstante Ausbringmenge) ausreichend, die Querverteilung (Streubilder) und die Dosierung (Abdrehproben) bei der jeweils optimalen Einstellung der Maschine zu überprüfen. Für die teilflächenspezifische Applikation kommen nun die Längsverteilung und die Variation der Ausbringmenge hinzu, das bedeutet eine Applikation mit u.U. suboptimaler Einstellung. Geprüft wurde einerseits die korrekte **Dosierung** bei Veränderung der Durchflussmenge sowie die **Verteilung** des Düngers entsprechend der jeweiligen Dosierung und Arbeitsbreite des Streuers. Die Querverteilung wurde anhand von praxisnahen Streubildern beurteilt. Im Anschluss wurden Versuche zur **Optimierung** der Maschineneinstellung bei variabler Durchflussmenge durchgeführt.

Zusätzlich wurde stichprobenartig die Regelung der Streuer getestet, indem Durchflussmessungen bei stationärem Testaufbau durchgeführt wurden. Dabei wurden Regelgrößen wie die Zeitverzögerungen durch Stellorgane und Elektronik ermittelt. Hierzu gibt es Arbeiten von Griepentrog und Persson (2001), weshalb das Thema nicht mit der gleichen Intensität untersucht wurde.

Zwei grundsätzlich unterschiedliche Prüfungen wurden durchgeführt:

- ⇒ Streuversuche zur **Querverteilung** der **Schleuderstreuer**, Messungen in der **Testhalle**, DK.
- ⇒ Messung der **Querverteilung** eines Selbstfahrer-**Pneumatikstreuers** unter **Feldbedingungen**, Raguhn.

In weiterführenden Arbeiten von K. Persson wurde mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse über die Querverteilung und Maschinenparameter (Persson, Weltzien 2001), die 2-dimensionalen Streubilder (Persson, 2002) und die Längsverteilung (Griepentrog, Persson 2001) ein Programm erarbeitet, das die Düngerapplikation simuliert und die Düngerverteilung auf der gesamten Fläche eines Beispielschlages berechnet (Persson, Weltzien 2002).

- ⇒ Die Simulation der Düngerverteilung.

## Material

Die Streubilder der Querverteilung von den im preagro eingesetzten Schleuderstreuern wurden in der Testhalle des DIAS/RCB in Bygholm, DK, in Kombination mit von den Betrieben genutzten typischen Stickstoffdüngern aufgenommen. Weiterhin wurden 2 Pneumatikstreuer und 2 Großflächen-Zentrifugalstreuer untersucht. Die Applikationsmengen wurden anhand der preagro-Düngestrategie auf **30, 60 und 90 kg N/ha** und zusätzlich **120 kg N/ha** festgelegt. Die Fahrgeschwindigkeit während der Versuche in der Testhalle war **8,3 km/h**. Für die **Querverteilung** wurden Versuche bei **allen** Streuern mit einer Arbeitsbreite von **24 m** durchgeführt. Die **2-dimensionalen Streubilder** für die Simulationsrechnung wurden mit **20 m** Arbeitsbreite gemessen, einzelne Versuche wurden auch mit 12 m und 36 m durchgeführt.

Tab. 2.1-2: Eingesetzte Dünger

Düngerformulierung und -sorte		Hersteller	Versuch
<b>a</b>	Gepirllt, NPK 21 –3 10	Norsk Hydro	Querverteilung Zentrifugalstreuer
<b>b</b>	Gepirllt, Harnstoff 46 % N	Piesteritz	Querverteilung Zentrifugalstreuer
<b>c</b>	Schwefelsaures Ammoniak 21% N	Leuna	Querverteilung Zentrifugalstreuer
<b>d</b>	Granuliert, NPK 13 – 9 – 16	BASF	Querverteilung Zentrifugalstreuer
<b>e</b>	Granuliert, KAS 27% N	BASF	Querverteilung Zentrifugalstreuer
<b>t</b>	Granuliert, KAS 27% N	VEBA Oel	Querverteilung Pneumatikstreuer
<b>s</b>	Granuliert, Ammoniumnitrat 25% N	Kemira	2 dimensionale Streubilder

Tab. 2.1-3: Geprüfte Streuer

	Streuer Hersteller / Bezeichnung	Typ / Drehrichtung / Anbau	Dünger Zufuhr	Arbeitsbreite [m]
A	Rauch Axera-H	Zentrifugal, Off-Centre-Line, Heckanbau	Schwerkraft	20, 24
B	Bogballe EX Trend	Zentrifugal, Centre-Line, Heckanbau	Schwerkraft	12, 20, 24, 36
C	Amazone ZA-M	Zentrifugal, Off-Centre-Line, Heckanbau	Schwerkraft	20, 24, 36
D	MAT Güstrow D045	Zentrifugal, Off-Centre-Line, gezogen	Förderband	24
	Bredal B4	Zentrifugal, Centre-Line, gezogen	Förderband	20, 24
	Kongskilde / Tive WingJet S4020	Pneumatik Auslegerstreuer, gezogen	Pneumatik	20
	AgChem Terragator 8103	Pneumatik Auslegerstreuer, Selbstfahrer	Pneumatik	21

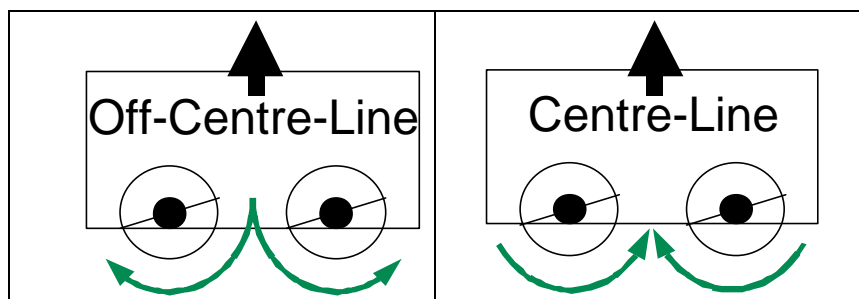
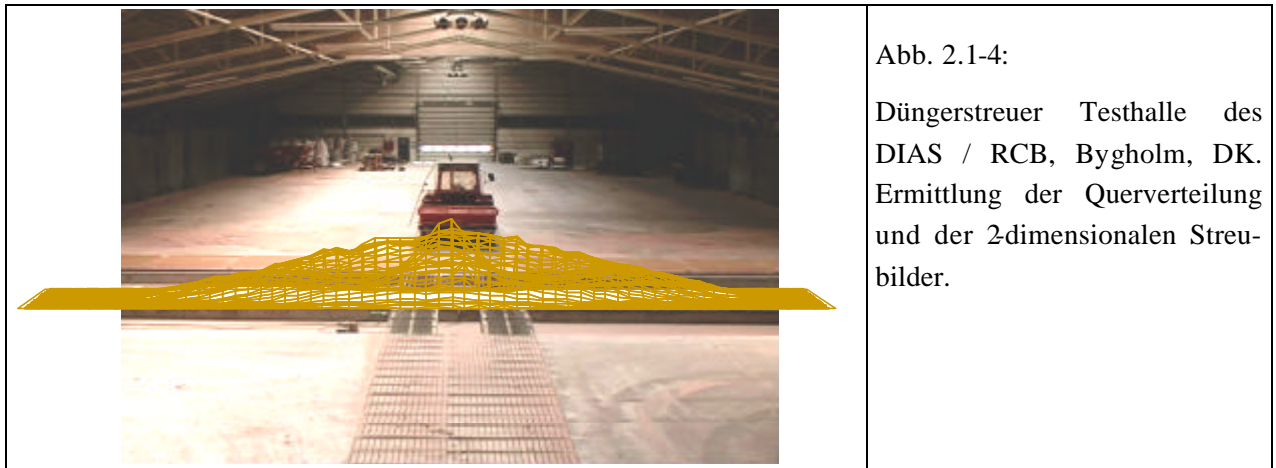


Abb. 2.1-3: Drehrichtung der Zweiseiben-Zentrifugalstreuer (Fahrtrichtung nach oben, Pfeil)

Tab. 2.1-4: Ausbringmengen für die Düngerstreuerexperimente

Geplante Applikation		Ausbringmenge der Düngersorte [kg / ha]						
	[kg N / ha]	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>t</b>	<b>s</b>
<b>Niedrig</b>	30	143	65	143	230	111	111	120
<b>Mittel</b>	60	286	130	286	460	222	222	240
<b>Hoch</b>	90	429	196	429	690	333	333	360
<b>Extra</b>	120	571	261	571	923	444	444	480



### 2.1.6.1.1 Ermittlung der Querverteilungstreubilder für Versuche zur Optimierung der Maschineneinstellung

#### Versuchsdurchführung

- I. Erste Streubilder wurden für die 3 gewählten Ausbringmengen mit Grundeinstellungen laut Herstellerempfehlungen aufgenommen. Die Grundeinstellung für jeden Streuer entsprechend der Ausbringmenge, der Arbeitsbreite und dem Dünger wurden in der vom Hersteller zur Verfügung gestellten Streutabelle nachgeschlagen. Die Grundeinstellung wurde je nach Herstellerempfehlung entweder für alle Ausbringmengen gleich gehalten oder entsprechend angepasst.
- II. In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Versuche mit Grundeinstellung aus ‚I.‘ wurden Optimierungen entsprechend der Herstelleranweisungen zur Optimierung des Streubildes im Feld durchgeführt. Unabhängige Einstellungsoptimierungen wurden, wenn notwendig bzw. möglich, für alle drei Ausbringmengen getrennt durchgeführt.
- III. Mit jeder der optimierten Einstellungen aus ‚II.‘ wurden erneut Streubilder für alle 3 Ausbringmengen aufgenommen.
- IV. Die Ergebnisse jeweils einer Versuchsreihe (eine Streuer-/Dünger-Kombination) wurden in einer Simulation als benachbarte Fahrspuren mit unterschiedlichen Ausbringmengen dargestellt. Ziel war es, die Einstellung mit dem im Durchschnitt niedrigsten Variationskoeffizienten für alle Ausbringmengen zu finden.

Der beschriebene Versuchsablauf bedeutet, dass bis zu 12 individuelle Versuche pro Versuchsreihe mit einer Streuer-/Dünger-Kombination gefahren wurden.

#### **Interpretation der Messwerte zur Ermittlung der Querverteilungstreubilder für Versuche zur Optimierung der Maschineneinstellung**

Die Ergebnisse wurden analysiert, um diejenige Einstellung eines jeden Streuers zu finden, bei der die Streubilder für alle Ausbringmengen möglichst gleichmäßig und die Abweichungen vom Sollwert niedrig sind. Das heißt, das einzelne Querverteilungstreubild sollte möglichst eine dreieckige Form aufweisen, womit in der Summe dreier nebeneinander liegender Streubilder mit

unterschiedlichen Ausbringmengen eine stetig abfallende oder ansteigende Gerade gebildet werden sollte (Persson, 1998).

Die Abbildungen 2.1-5 und 2.1-6 zeigen einige zufällig ausgewählte Ergebnisse der Versuche. Die Simulation zeigt jeweils die Querverteilungsbreiter mit 3 verschiedenen Ausbringmengen einer Versuchsreihe (ein Streuer, ein Dünger, eine Einstellung) in nebeneinander liegenden Fahrspuren. Dabei ist die ‚**gemessene Verteilung**‘ die Summe der gemessenen Querverteilungsbreiter für benachbarte Fahrspuren. Die ‚**geplante Applikation**‘ ist eine berechnete Gerade, die durch die **Sollwerte** der geplanten Ausbringmengen gelegt wurde. Die ‚**gemessene Applikation**‘ ist ebenfalls eine berechnete Gerade, die durch die **Mittelwerte** der gemessenen Ausbringmengen gelegt wurde. Es wurden zwei Werte für die Streuung der Ergebnisse berechnet:

**DevS:** Mittlere relative Abweichung (**Deviation [%]**) der ‚gemessenen Verteilung‘ von der ‚**geplanten Applikation**‘ (Die ‚geplante Applikation‘ ist eine Gerade durch die Sollwerte der geplanten Ausbringmengen.)

**DevM:** Mittlere relative Abweichung (**Deviation [%]**) der ‚gemessenen Verteilung‘ von der ‚**gemessenen Applikation**‘ (Die ‚gemessene Applikation‘ ist eine Gerade durch die Mittelwerte der tatsächlichen Ausbringmenge aus den Versuchsergebnissen.)

Die Differenz zwischen der mittleren Abweichung der ‚geplanten‘ und der ‚gemessenen Applikation‘ ( $DevS - DevM$ ) ist ein Maß für den Fehler der Ausbringmenge bei variabler Durchflussmenge. Liegen die beiden Geraden parallel, ist das ein Hinweis auf einen Einstellungsfehler; unterschiedliche Steigungen deuten auf Probleme in der Durchflussmengenregelung hin.

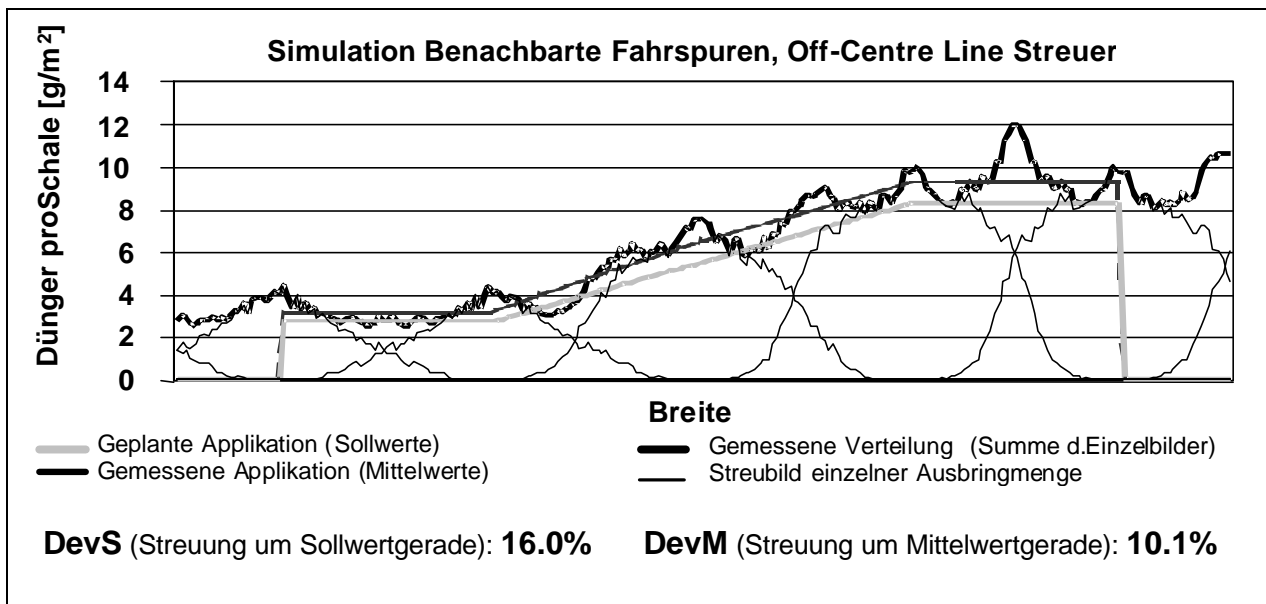


Abb. 2.1-5: Querverteilung Off-Centre-Line Streuer, Simulation in benachbarten Fahrspuren. Düngersorte (e), Streuer (C) und die Einstellung blieben unverändert

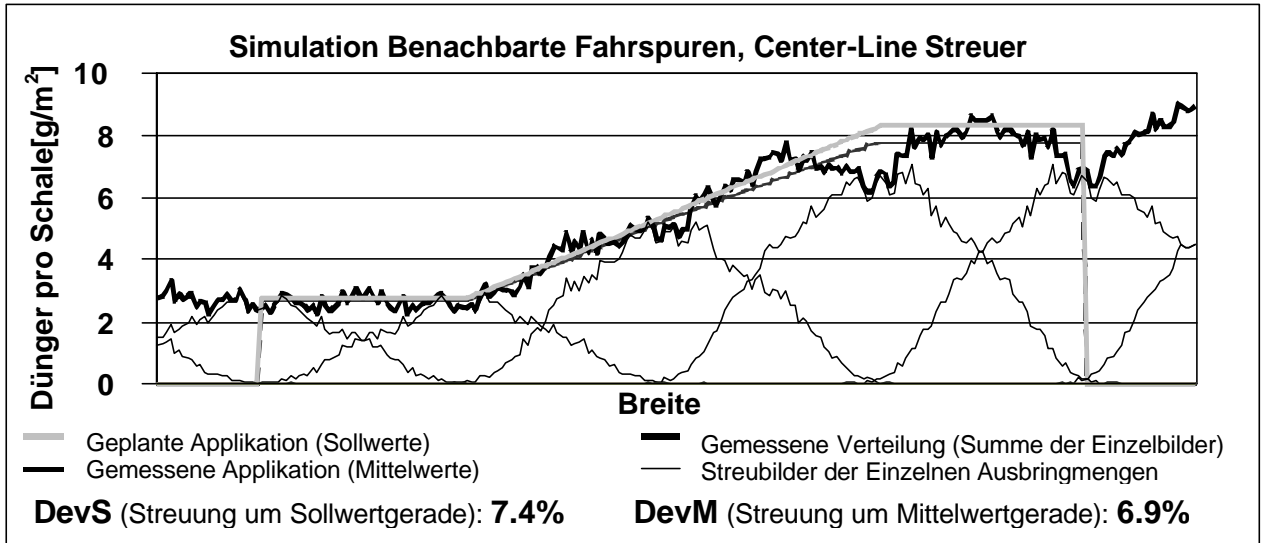


Abb. 2.1-6: Querverteilung, Centre-Line-Streuer, Simulation in benachbarten Fahrspuren. Düngersorte (e), Streuer (B) und die Einstellung blieben unverändert

**Einflüsse auf die Querverteilung**

Abbildungen 2.1-7 und 2.1-8 vergleichen die individuellen Streubilder einer Versuchsreihe mit 3 verschiedenen Ausbringmengen von jeweils einer Off-Centre-Line und einer Centre-Line-Maschine. Der **Mengeneffekt** (Einfluss der Durchflussmenge auf das Streubild, Abb. 2.1-7 und 2.1-8) wird sichtbar in den unterschiedlichen Formen der Streubilder bei verschiedenen Ausbringmengen. Bei einigen Düngersorten wird besonders deutlich, dass die Streubilder der Off-Centre-Line-Streuer stärker von Durchflussmengenänderungen beeinflusst werden als die Streubilder der Centre-Line-Maschinen. Eine Begründung hierfür liegt in der beim Centre-Line-Streuer größeren (häufigeren) Überlappung der Einzelstreubilder zu einem Gesamtstreubild und der daraus resultierenden ausgleichenden Wirkung. Gleichzeitig sind häufigere Überlappung und größere Wurfweiten problematisch für die Ansprache kleinräumiger Variationen im precision agriculture (Persson 1998, Marquering 2002).

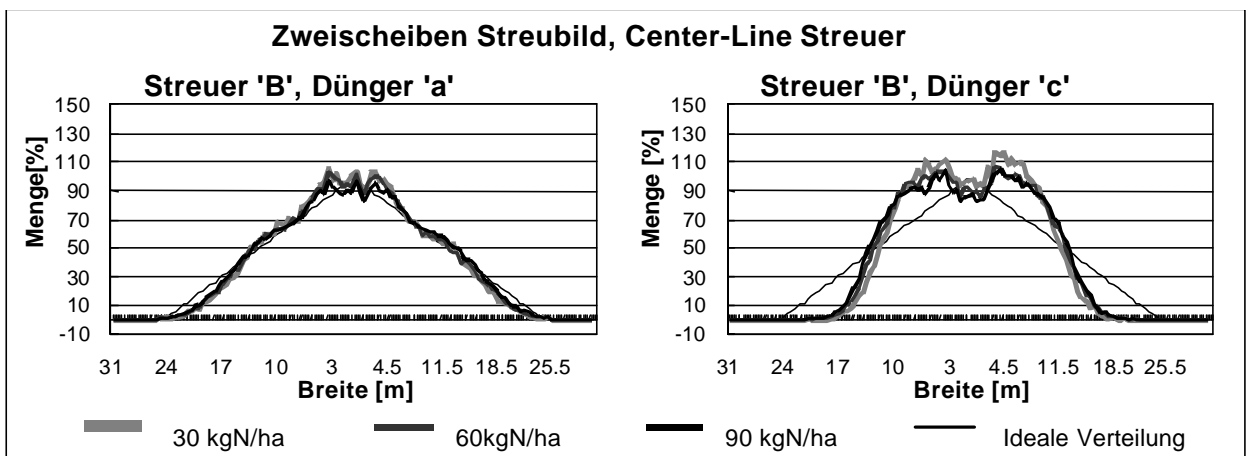


Abb. 2.1-7: Einfluss des Düngers auf die Querverteilungstreubilder. Zweischeiben-Streubild der Querverteilung mit 3 Ausbringmengen, Grundeinstellungen laut Anleitung, Centre-Line-Streuer (B) mit 2 Düngersorten.

Der Einfluss der **physikalischen Eigenschaften des Düngers** auf das Streubild bei unterschiedlichen Ausbringmengen wird deutlich, wenn man die Ergebnisse mit unterschiedlichen Düngersorten vergleicht (Abb. 2.1-7 und 2.1-8).

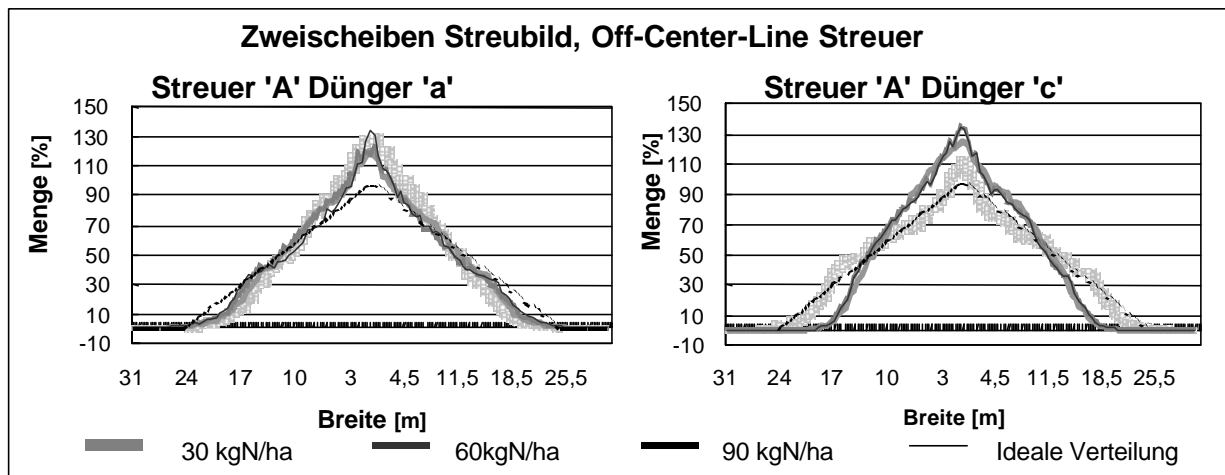


Abb. 2.1-8: Einfluss des Düngers auf die Querverteilungstreubilder. Zweischeiben-Streubild der Querverteilung mit 3 Ausbringmengen, Grundeinstellungen laut Anleitung, Off-Centre-Line-Streuer (C) mit 2 Düngersorten

### Möglichkeiten und Grenzen der Optimierung der Maschineneinstellung

Tabelle 2.1-5 zeigt die mittlere relative Abweichung (**Deviation**) für die **gemessene Verteilung** von der **gemessenen Applikation** (DevM, mittlere relative Abweichung von der berechneten Geraden zwischen den Mittelwerten der gemessenen Ausbringmengen in %) und von der **geplanten Applikation** (DevS, mittlere relative Abweichung von der berechneten Geraden zwischen den Sollwerten der geplanten Ausbringmengen in %). Alle Ergebnisse sind für die Versuche mit **Grundeinstellungen** laut Streutabelle dargestellt sowie für die **optimierten** Einstellungen entsprechend der **niedrigen** (Opt. **n**), der **mittleren** (Opt. **m**) sowie der **hohen** (Opt. **h**) Ausbringmenge. Für die Fälle, in denen mehrere Grundeinstellungen für die verschiedenen Ausbringmengen vom Hersteller empfohlen wurden, wird durch Indizierung darauf hingewiesen (z.B. **a<sub>n</sub>** als Grundeinstellung für Dünger **a** mit **niedriger** Ausbringmenge).

Tab. 2.1-5: Optimierungen der Zentrifugalstreuereinstellung, mittlere relative Abweichung der gemessenen Verteilung von den Geraden durch die Sollwerte (DevS) bzw. die Mittelwerte (DevM), Durchschnitt für je drei Ausbringmengen in %

Streuer Typ	Dünger	Einstellung des Düngerstreuers								Erfolg d. Optimierung.
		Grundeinstellung		Optimierung nach Niedriger Menge		Optimierung nach Mittlerer Menge		Optimierung nach Hoher Menge		
		DevS	DevM	DevS	DevM	DevS	DevM	DevS	DevM	
A Off-Centre-Line	a	10,1	9,2	10,9	6,8	10,9	6,8	10,9	6,8	+/+
	b	21,6	10,0	23,7	11,9	23,7	11,9	23,7	11,9	-/-
	c	10,0	9,8	12,9	12,7	12,9	12,7	12,9	12,7	-/-
	d	10,1	9,7	9,9	6,8	8,7	8,8	8,7	8,8	+/+
	e <sub>n</sub>	17,1	12,8	7,0	6,4					+
	e <sub>mh</sub>	22,4	20,6			6,7	6,2	6,7	6,2	+/+
B Centre-Line	a <sub>nm</sub>	6,1	5,1	6,1	5,1	6,1	5,1			o/o
	a <sub>h</sub>	5,8	5,3					6,8	5,9	-
	b <sub>n</sub>	11,4	10,3	9,7	8,7					+
	b <sub>m</sub>	9,7	8,7			8,9	8,1			+
	b <sub>h</sub>	9,5	9,0					8,1	7,4	+
	c <sub>nm</sub>	8,7	8,8	8,7	8,8	8,9	8,5			o/+
	c <sub>h</sub>	8,9	8,5					7,2	7,2	+
	d <sub>n</sub>	6,3	6,4	7,1	7,2					-
	d <sub>mh</sub>	8,2	5,5			8,2	5,5	6,9	6,9	o/-
e <sub>nm</sub>	7,4	6,9	7,4	6,9	6,2	5,6			o/+	
e <sub>h</sub>	7,6	5,6					7,3	6,0	-	
C Off-Centre-Line	a	20,1	9,4	18,5	10,1	19,3	9,7	19,3	9,7	-/-
	b	15,4	8,1	15,5	8,0	14,4	8,0	15,3	10,2	o/o/-
	c	15,6	15,0	12,7	12,3	11,8	11,5	10,1	9,3	+/+
	d	27,2	21,8	18,7	11,0	18,9	10,7	18,9	10,7	+/+
	e	18,2	9,4	17,3	11,1	16,9	10,3	16,0	10,1	-/-
D Off-Centre-Line	a <sub>n</sub>	12,6	13,4	7,8	6,8					+
	a <sub>mh</sub>	7,8	6,8			7,8	6,8	7,8	6,8	o/o
	b <sub>nm</sub>	12,9	12,5	13,1	13,6	12,9	12,5			-/+
	b <sub>h</sub>	12,8	12,4					12,8	12,4	o
	c <sub>n</sub>	16,6	16,0	16,6	16,0					o
	c <sub>mh</sub>	12,4	11,4			12,4	11,4	12,4	11,4	o/o
	d	12,5	9,6	10,1	8,8	12,5	9,6	12,5	9,6	+/o/o
	e <sub>n</sub>	9,0	8,9	13,3	12,4					-
e <sub>mh</sub>	10,1	8,7			12,4	12,5	12,4	12,5	-/-	

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass der Erfolg einer Optimierung eher zufällig ist und dass für keinen der geprüften Streuer eine allgemeine Optimierungsstrategie abgeleitet werden kann. Bei einzelnen Versuchen zur Optimierung sind die Werte anschließend sogar schlechter als vor der Optimierung.

Da die Suche nach der richtigen Einstellung sich im Feld als sehr schwierig erweist, lautet die Empfehlung für PA, solche Streuer zu wählen, die eine gute durchschnittliche Bewertung in allen Streubildern erhalten und von der Durchflussmengenänderung nur gering beeinflusst werden.

### 2.1.6.1.2 Messung der Querverteilung eines Selbstfahrer Pneumatik Auslegerstreuers unter Feldbedingungen

Während in den Vorjahren das Hauptaugenmerk auf den Zweischeiben-Zentrifugalstreuern lag, wurde im Jahr 2001 zum Vergleich die Prüfung eines Selbstfahrer-Pneumatik-Auslegerstreuers durchgeführt. Die Arbeitsqualität wurde in einem aufwendigen Versuch beim Partnerbetrieb TAS Raguhn in enger Zusammenarbeit mit Herrn K. Persson vom DIAS/RCB, DK geprüft. Der Selbstfahrer-Pneumatik-Auslegerstreuer Typ Terra-Gator wird von drei Pilotbetrieben im preagro-Projekt primär zum Ausbringen der Grundnährstoffe eingesetzt.

#### Material und Methoden, Prüfung Pneumatik-Auslegerstreuer

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit denen der Zweischeibenstreuer ist wegen der unterschiedlichen Versuchsbedingungen nicht möglich. Um dennoch Rückschlüsse ziehen zu können, wurden die Einstellungen entsprechend denen der Zentrifugalstreuerprüfungen gewählt. Es wurde granulierter Stickstoffdünger KAS (27 % N) der VEBA OEL AG verwendet. Die Ausbringmengen wurden entsprechend den Versuchen mit den Zentrifugalstreuern auf 30 kg N/ha (111 kg/ha), 60 kg N/ha (222 kg/ha), 90 kg N/ha (333 kg/ha) und zusätzlich für einen stationären Test noch 120 kg N/ha (444 kg/ha) festgelegt. Alle Versuche wurden auf offenem asphaltiertem Gelände durchgeführt.

Die in Raguhn getestete Maschine war ein AgChem Terra-Gator 8103 mit ‚Soilection Twin Bin‘-Pneumatik Auslegerstreuer.

Technische Daten:

Arbeitsbreite:	21,23 m (70 ft.)
Breite des Auslegers:	20,27 m (67 ft.) mit 20 Öffnungen in 1,07 m Abstand
Controller:	Falcon Computer
Software :	SGIS Version 1.11
Spurweite:	2,26 m, Zwischenreifen Freiraum 3,36 m, Reifen Außenkante

Es wurden **stationäre Beuteltests** (Verteilung des Düngers auf die einzelnen Öffnungen) entsprechend dem Handbuch von AgChem durchgeführt.

- Beutel wurden so um jede Austrittsöffnung gebunden, dass die Luft entweichen kann.
- Am Falcon Controller wird die Ausbringmenge auf 100 kg/ha bei 24 km/h eingestellt.
- Gebläse-Drehzahl, frei wählbar, wurde auf 4000 – 5000 U/min eingestellt.
- Die Maschine wird gestartet und ca. 100 kg Dünger werden ausgebracht.
- Jeder Beutel wird gewogen und der Variationskoeffizient des Ergebnisses wird berechnet.

**Versuchsaufbau Querverteilung:** Die dynamischen Messungen wurden auf einer nahezu ebenen asphaltierten Fläche, auf der die Auffangbehälter platziert wurden, durchgeführt. Die Auffangbehälter mit schrägen Öffnungen von 25 cm x 50 cm wurden speziell für diesen Test entwickelt, um das Düngergranulat, das der Pneumatikstreuer mit hoher Geschwindigkeit schräg nach hinten abwirft, ohne Verluste aufzufangen. Die Behälter wurden quer zur Fahrtrichtung aufge-

stellt, zusätzlich wurden herkömmliche Behälter (50 cm x 50 cm) in Längsrichtung aufgestellt. Die Applikation des Düngers wurde gestartet und dann mit maximaler Geschwindigkeit losgefahren, nach 6 m erreicht der Ausleger die Auffangbehälter, Vorfahrtgeschwindigkeit ca. 8 km/h.

### Ergebnisse Prüfung Pneumatik-Auslegerstreuer

An den Variationskoeffizienten (Tabelle 2.1-6 und 2.1-7) wird deutlich, dass die Verteilung des Düngers pro Austrittsöffnung durch die Ausbringmenge beeinflusst wird. Die Tendenz der beiden Versuche ist identisch, das Niveau der Fehler liegt beim dynamischen Versuch aber deutlich über dem stationären. Das Ergebnis des stationären Beuteltests mit 222 kg/ha Ausbringmenge wurde mit einem AgChem-Vertreter diskutiert, er empfahl keine Optimierung der Einstellung, da dies unter Praxisbedingungen nicht zu relevanten Verbesserungen führen würde.

Tab. 2.1-6: Variationskoeffizient der Ausbringmenge pro Austrittsöffnung, Ergebnisse des **stationären** Beuteltests

Ausbringmenge	111 kg/ha	222 kg/ha	333 kg/ha	444 kg/ha
Variationskoeffizient	10,4 %	6,3 %	3,9 %	3,5 %

Tab. 2.1-7: Variationskoeffizient der Querverteilung, Ergebnisse der **dynamischen** Versuche

Ausbringmenge	111 kg/ha	222 kg/ha	333 kg/ha
Variationskoeffizient	24,5 %	16,2 %	13,9 %

Entsprechend dem Normvorschlag CEN (prEN 13789-1) für einheitliche Ausbringmengen liegt die zulässige Grenze für den Variationskoeffizienten der Querverteilung bei  $VK = 15\%$ , gemessen in der Testhalle. Es wäre daher wichtig, diese Messungen in der Testhalle zu wiederholen, um zu prüfen, ob der Streuer die Anerkennung laut Normentwurf bekommt. Der Versuch, den TerraGator nach Byholm zu bringen, scheiterte im laufenden Projekt an fehlenden Mitteln für den aufwendigen Transport bzw. dem mangelnden Interesse der Herstellerfirma, sich hieran zu beteiligen. Die Ergebnisse sowohl vom dynamischen Querverteilungstest (Tab. 2.1-7) als auch vom stationären Beuteltest (Menge pro Austrittsöffnung Tab. 2.1-6) zeigen, dass die Verteilung ab einer Durchflussmenge von 175 kg/min und darüber gleichmäßiger wird, das entspricht einer Ausbringmenge von 250 kg/ha bei 20 km/h Vorfahrtgeschwindigkeit.

Detaillierte Begründungen für die Unterschiede in der Arbeitsqualität in Abhängigkeit von der Ausbringmenge wurden in diesem Test nicht gefunden. Generell gilt aber auch für Zentrifugalstreuer, dass sehr kleine Durchflussmengen kritisch sind für die Verteilgenauigkeit. In diesem Versuch wurde nicht auf die Längsverteilung oder auf die Zeitverzögerung bei Mengenänderungen eingegangen. Dies muss in weiteren Versuchen nachgeholt werden.

### Schlussfolgerungen Prüfung Pneumatik-Auslegerstreuer

In der nachfolgenden Abbildung 2.1-9 sind die Einzelstreubilder der Querverteilungsversuche des Auslegerstreuers mit verschiedenen Ausbringmengen in einer Simulation in benachbarte Fahrspuren gelegt. Die Ausbringmengen sind von links nach rechts 111 kg/ha, 222 kg/ha, und 333 kg/ha. Das Gesamtbild zeigt deutliche Stufen zwischen den Fahrspuren. Eine Ansprache

kleinerer Variationen als der Arbeitsbreite (hier 18m) ist nicht möglich. Die Streuung um die Sollwertgerade (geplante Applikation) für alle drei Ausbringmengen beträgt 17 %.

Die Werte aus diesem Versuch gelten nur für diese Maschine, unter den oben beschriebenen Bedingungen, nicht für Auslegerstreuer im allgemeinen! Deutlich wird hierbei, wie wichtig die optimale Einstellung und auch Wartung der Maschinen ist. Es zeigt, dass unter Praxisbedingungen noch mal deutliche Abstriche in der Arbeitsqualität im Vergleich zu den Ergebnissen aus der Testhalle gemacht werden müssen.

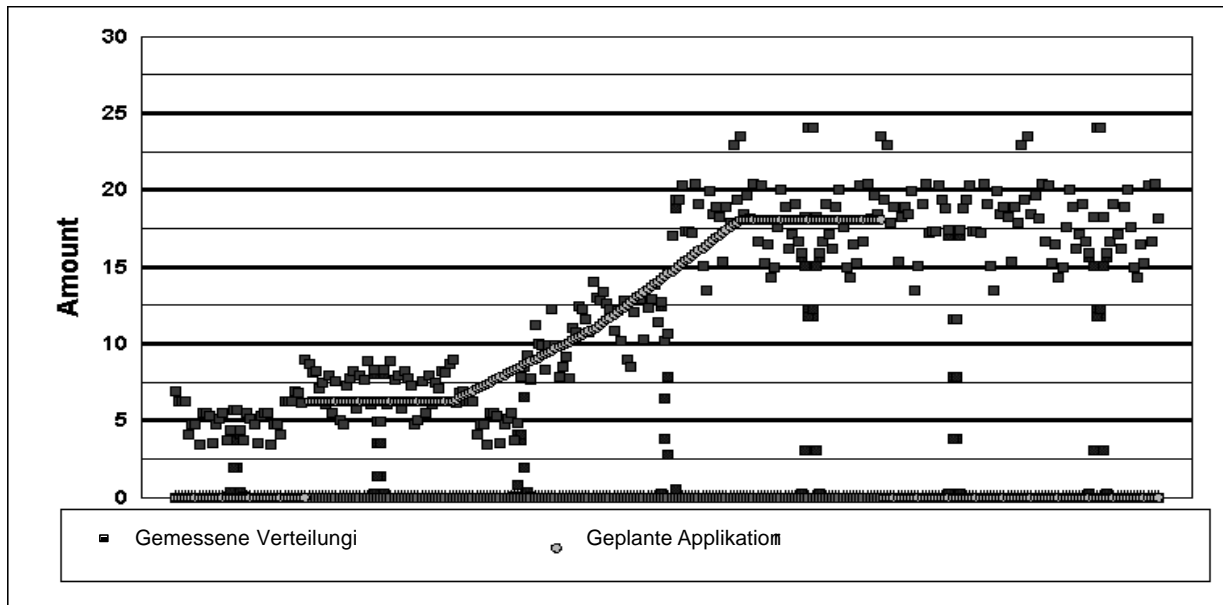


Abb. 2.1-9: Querverteilung, Auslegerstreuer TerraGator 8103, Simulation in benachbarten Fahrspuren, 18 m Arbeitsbreite,  $\varnothing$  relative Abweichung 17%

### 2.1.6.1.3 Vergleich der Düngerapplikationstechniken

Anders als beim Auslegerstreuer lässt sich mit einem gut eingestellten Zentrifugalstreuer ein stetiger Übergang von einer Ausbringmenge zur anderen quer zur Fahrtrichtung bewerkstelligen (vgl. Abb. 2.1-5, 2.1-6 und 2.1-9), dies schlägt sich in der geringeren Abweichung von der Sollwertgeraden nieder. Keine Streuertechnik ist jedoch bisher in der Lage, kleinräumige Variationen **innerhalb der Arbeitsbreite** anzusprechen. Eine Ausnahme bilden die Off-Centre-Line-Zweischeiben-Zentrifugalstreuer mit unabhängiger Regelung der Einzelscheiben. Mit dieser Technik ist eine individuelle Regelung für je eine Hälfte des Streukegels möglich. Allerdings muss auch hier die Überlappung aus den Nachbarfahrspuren berücksichtigt werden (Streuweite > Arbeitsbreite) (Marquering 2002). Beim Zentrifugalstreuer kommt darüber hinaus erschwerend hinzu, dass das Streubild auch in Fahrtrichtung eine große Ausdehnung zeigt (Abb. 2.1-10). Im Gegensatz dazu zeigt das Streubild eines Auslegerstreuers nur geringe Ausdehnung in Längsrichtung.

### Ausdehnung der Streukegel

Das Streubild eines Zweischeiben-Zentrifugalstreuers hat eine große Ausdehnung sowohl in Länge als auch in Querrichtung. Die Ausdehnung des Streukegels verringert sich nicht proportional zur Arbeitsbreite! Bei 20 m Arbeitsbreite ist die Fläche unter dem Streukegel für den Bredal- Großflächen Zentrifugalstreuer 2106 m<sup>2</sup> und für den Kongskilde-Pneumatik-Auslegerstreuer 208 m<sup>2</sup>.

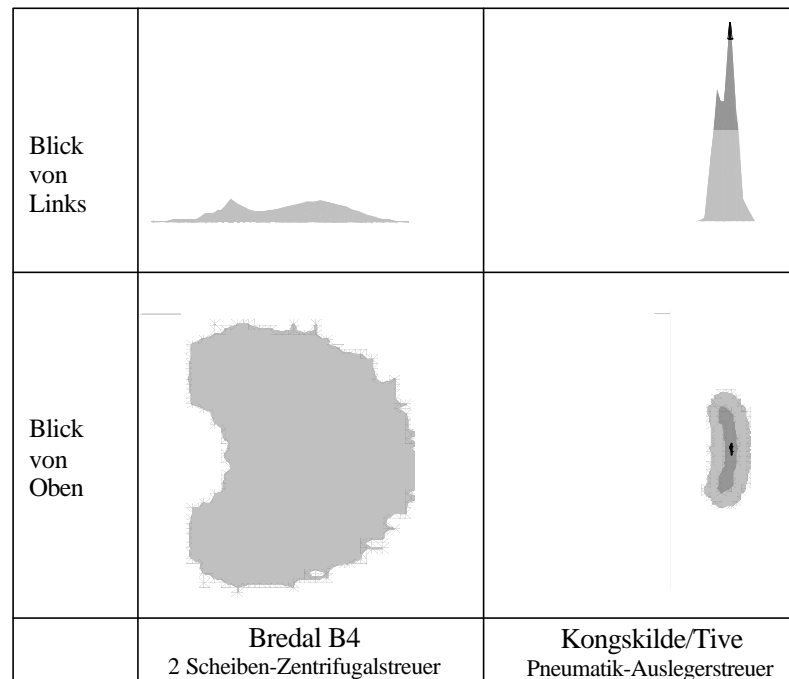


Abb. 2.1-10: Die 2-dimensionalen Streubilder eines Zentrifugal- und eines Pneumatik-Streuers, Ansichten von links und von oben. Beide Streukegel sind bei 20 m Arbeitsbreite aufgenommen worden.

Tab. 2.1-8: Fläche unter den Streubildern verschiedener Streuer

Streuer	AB [m]	Länge [m]	Breite [m]	Fläche[m <sup>2</sup> ]
Bogballe EX	20	33	50	1650
Bredal B4	20	39	54	2106
Amazone ZA-M	20	26	44	1144
Kongskilde / Tive	20	8	26	208

Moderne Zentrifugalstreuer erreichen Arbeitsbreiten von 36 m, teilweise sogar bis 48 m, die Wurfweiten liegen noch darüber. Die großen Breiten sind für kleinräumige Variationen problematisch, die Verteilgenauigkeit leidet darunter (Marquering 2002).

### 2.1.6.1.4 Simulation der Düngerverteilung

Von Herrn K. Persson DIAS/RCB wurde eine Berechnungsmethode entwickelt, um die Gesamtdüngemittelverteilung bei teilflächenspezifischer Applikation abzuschätzen. Basierend auf stationären Messungen zweidimensionaler Streubilder, ist die Verteilung auf einem Beispielschlag simuliert worden. Dazu wurde die Heterogenität des Düngerbedarfes anhand einer Applikationskarte ermittelt. Die simulierten Düngermengen wurden mit denen der Applikationskarte im 2 m x 2 m Raster verglichen.

Die Berechnungen zeigen, dass für jene Teile des Feldes mit niedriger Heterogenität eine große Arbeitsbreite kaum negativen Einfluss hat. Wohingegen in Bereichen mit hoher Heterogenität kleine Arbeitsbreiten notwendig sind, um die kleinräumigen Strukturen exakt anzusprechen. Die Bauart der Streuer hat einen großen Einfluss auf die Fähigkeit, die geforderten Variationen nachzufahren. Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass Pneumatik-Auslegerstreuer mit kurzer Ausdehnung des Streubildes in Längsrichtung vorzuziehen sind.

#### Die Feldbedingungen des Beispielschlages:

Das Luftbild zeigt den Beispielschlag im April / Fruchtart Weizen. Es zeigt sich starke Heterogenität im Schlag. Stellen mit höherer Heterogenität finden sich besonders im Nordwesten, gleichmäßigere Stellen mit niedrigerer Heterogenität hingegen eher im Süden. Der Stickstoffbedarf variiert zwischen 85 kg N/ha und 120 kg N/ha.

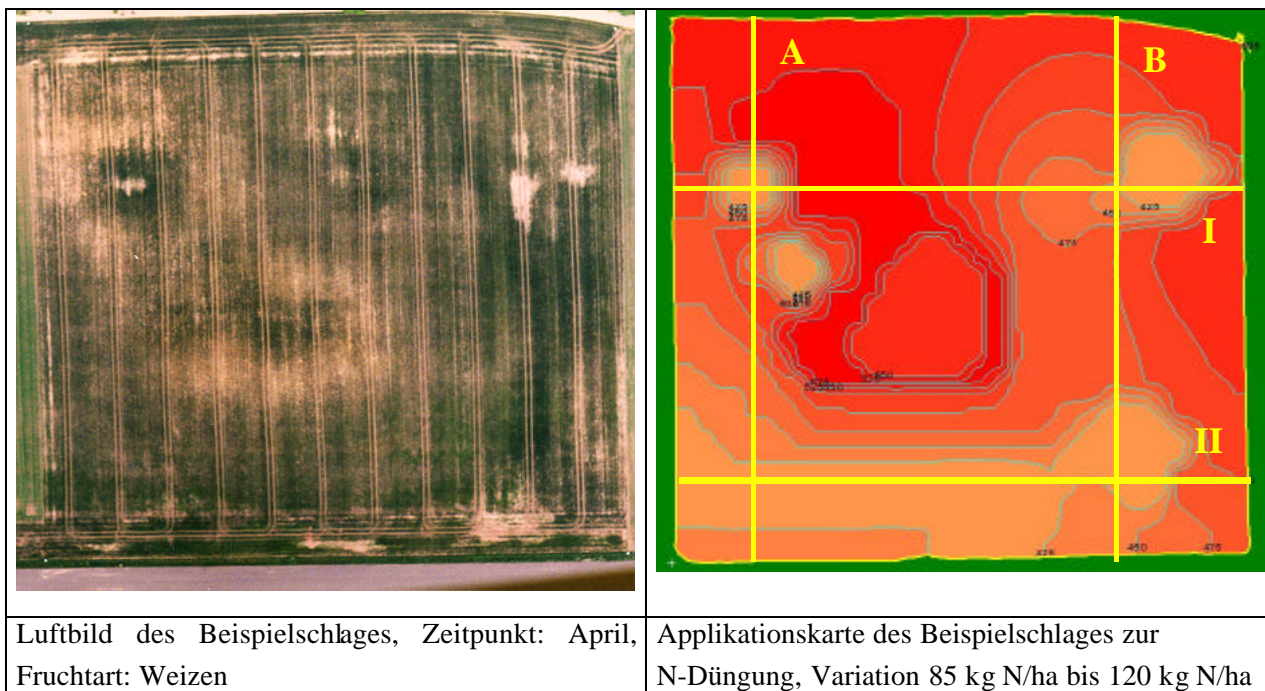


Abb. 2.1-11: Beispielschlag im DIAS / RCB Grundlage zur Berechnung des Simulationsprogrammes

Eine besondere **Herausforderung** an die **Technik** sind die Stellen im Schlag, an denen sich der Düngerbedarf innerhalb einer kurzen Strecke sehr schnell und sehr stark ändert. Die maximale Sollwertänderung liegt im Beispielschlag im nordwestlichen Bereich bei 11 kg/m.

### Querverteilung: Ergebnisse aus der Simulationsrechnung

Bei niedrigerer Heterogenität (Transekte II, Abb. 2.1-11) ist es den Streuern mit der größeren Ausdehnung besser möglich, die Variationen nachzufahren als bei höherer Heterogenität (Transekte I, Abb. 2.1-11). Alle Streuer zeigen bei Transekte I schlechtere Werte, der Pneumatik-Auslegerstreuer (Kongskilde) zeigt in beiden Fällen die besten Ergebnisse.

Tab. 2.1-9: Ergebnisse aus der Simulationsrechnung zur Querverteilung

Ø Fehler Querverteilung [%] Transekte I, hohe Heterogenität (Abb. 2.1-11)		Ø Fehler Querverteilung [%] Transekte II, niedrige Heterogenität (Abb. 2.1-11)	
Bogballe	4,1	Bogballe	3,0
Bredal	7,5	Bredal	6,0
Amazone	5,2	Amazone	4,4
Kongskilde	3,3	Kongskilde	2,4

### Längsverteilung: Ergebnisse aus der Simulationsrechnung

Es zeigt sich, dass Streuer mit ausladendem Streubild in Längsrichtung nicht in der Lage sind, sehr kleinräumige Variationen entsprechend nachzufahren. Obwohl die Ausbringmenge reduziert wurde, wird zu viel Dünger ausgebracht. Das liegt unter anderem an der Überlappung der Streubilder aus der Nachbarfahrspur. Zusätzlich wird bei einigen Streuern ein Versatz in Fahrtrichtung sichtbar, dadurch setzt die Variation zu spät ein. Der Auslegerstreuer zeigt ein sehr gutes Ergebnis, das kleinere Streubild hat hier deutlich Vorteile. Wegen der etwas geringeren Anforderungen bezüglich schneller Wechsel der Sollwerte für die Ausbringmengen sind die Ergebnisse insgesamt in Fahrspur B etwas besser als in Fahrspur A.

Tab. 2.1-10: Ergebnisse aus der Simulationsrechnung zur Längsverteilung

Ø Fehler Längsverteilung [%] Fahrspur A, (Abb. 2.1-11)		Ø Fehler Längsverteilung [%] Fahrspur B, (Abb. 2.1-11)	
Bogballe	2,2	Bogballe	2,0
Bredal	3,4	Bredal	2,5
Amazone	1,6	Amazone	1,8
Kongskilde	0,7	Kongskilde	1,3

### Vergleich der Gesamtabweichungen: Ergebnisse der Simulation

Berechnet wurde der Durchschnitt der Abweichung vom Sollwert aller Rasterzellen (2 m x 2 m) nach simulierter Düngerapplikation für den Beispielschlag. Die Simulation wurde mit 20 m Arbeitsbreite für die vier verschiedenen Streuer durchgeführt. Die Ergebnisse machen deutlich, dass die Ausdehnung des Streubildes so klein wie möglich gehalten werden sollte, um kleinräumige Variationen im precision agriculture nachbilden zu können. Es zeigt sich auch, dass der Einfluss der Querverteilung stärker wiegt als derjenige der Längsverteilung. Am Beispiel des Zentrifugalstreuers Bogballe EX wird der Einfluss der Arbeitsbreite auf das Ergebnis dargestellt. Bei der Arbeitsbreite 24 m wird exemplarisch gezeigt, wie sehr eine Optimierung der Einstellung das Gesamtergebnis positiv beeinflussen kann.

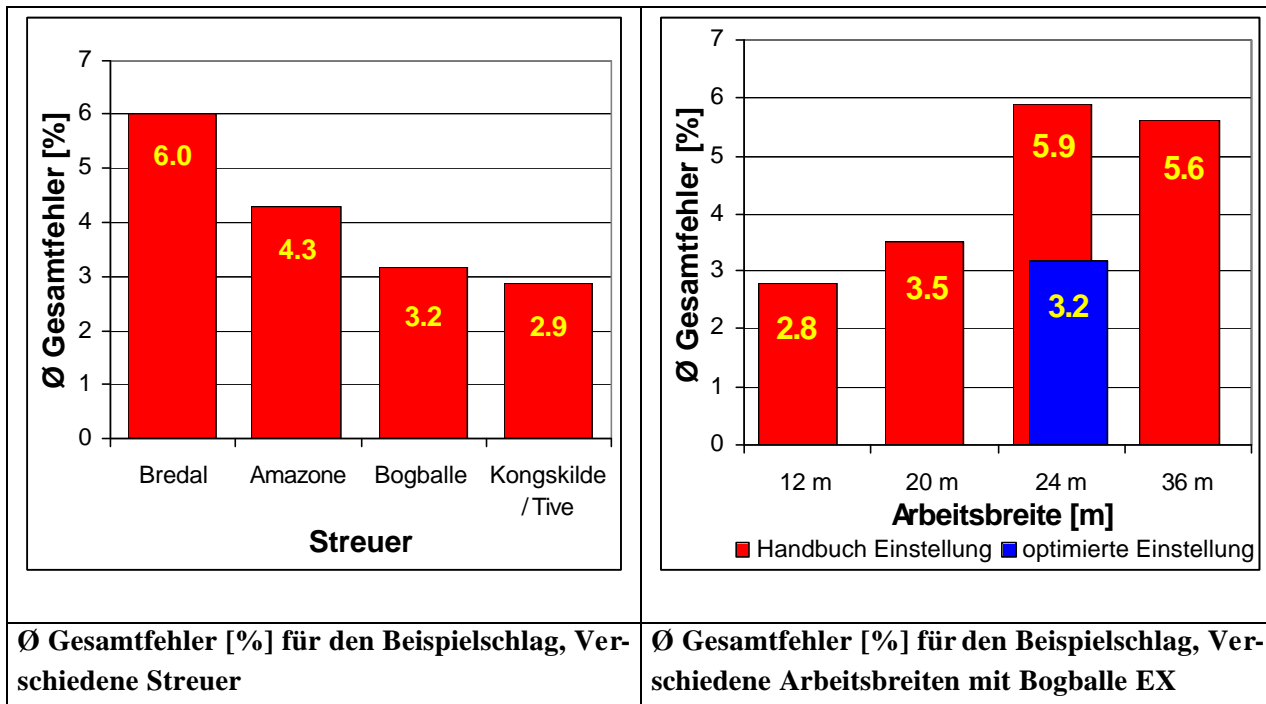


Abb. 2.1-12: Vergleich der Gesamtfehler der teilflächenspezifischen Düngerapplikation, berechnet mit dem Simulationsprogramm von K. Persson, DIAS / RCB, DK

**Analyse der Hauptursache für Fehlapplikationen**

- **Versuche zur Optimierung der Querverteilungsbilder bei variabler Ausbringung**
  - ⇒ Einflussfaktoren: Physikalische Eigenschaft des Düngers, Durchflussmenge, Streuertyp, Drehrichtung der Wurfscheiben, Überlappung der Streubilder
  - ⇒ keine allgemeingültigen Einstellregeln
  - ⇒ aber kritisch für erfolgreiche Applikation
- **Simulation der Düngerausbringung im Feld**
  - ⇒ Querverteilung hat größeren Einfluss als Längsverteilung
  - ⇒ Fläche / Ausdehnung des Streubildes kritisch
  - ⇒ Überlappung der Streubilder aus Nachbarfahrspuren
  - ⇒ Heterogenität des Schlages / Anforderungen an die Technik
- **Geräte müssen den Einsatzbedingungen angepasst sein**
  - ⇒ Kleine Arbeitsbreite bei hohen Anforderungen / hohe Heterogenität
  - ⇒ Größere Arbeitsbreiten (Regeleinheiten) bei großflächigen Heterogenitäten
  - ⇒ Entwicklung weiterer Technik mit individueller Teilbreitenregelung

### 2.1.6.1.5 Schlussfolgerungen Technikvergleich Düngerstreuer

Die Versuche zur Arbeitsqualität der Düngerstreuer ergaben, dass die Variation der Streubilder (Querverteilung) nach einfacher Handbucheinstellung (praxisnah) teilweise über  $VK = 15\%$  lag. Die Ergebnisse zeigen, dass die Optimierungen notwendig und in der Regel erfolgreich sind, aber die Ableitung der Einstellungsempfehlungen nicht möglich ist. Es kann leider auch keine Empfehlung gegeben werden auf welchem Niveau mit der Einstellungsfindung des Streuers begonnen werden soll.

Die Effekte, die zu einer Abweichung zwischen geplanter und tatsächlichen Verteilung des Düngers führen, können in verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

- Fehler der Ausbringmenge, Dosierung / Einstellungsfehler

Obwohl Fehler in der Dosierung der Durchflussmenge die Verteilgenauigkeit beeinflussen, zeigen die Berechnungen, dass es nicht die Hauptursachen für Abweichungen zwischen Soll- und Istwert sind. Es wird jedoch deutlich, dass bei teilflächenspezifischem Einsatz die **Kalibrierung** der Geräte absolut höchste Priorität hat. **Einstellempfehlungen** der Hersteller zu verschiedenen Düngersorten müssen an die variablen Ausbringmengen angepasst werden.

- Positionierungsfehler / Längsverteilung

Die Genauigkeit der Längsverteilung hängt von dem Ansprechverhalten der Streuerregelung ebenso wie der Zuverlässigkeit der Positionierung ab. Stichprobenartig wurden Reaktionszeiten der Regelung bei einem Streuer abgeprüft, die Ergebnisse waren überwiegend zufriedenstellend. Bei einigen Maschinen zeigt sich jedoch eine in Fahrtrichtung verzögerte Ansteuerung. Die Entfernung zwischen GPS-Antenne und Massemittelpunkt des Streukegels im Verhältnis zur Vorfahrtgeschwindigkeit muss in die Ansteuerung einbezogen werden, da es sonst zu den o.g. Verschiebungen kommt (Griepentrog, Persson 2001). GPS-Empfänger weisen unterschiedliche Genauigkeiten auf, sie können aber insgesamt als Hauptfehlerquelle für Fehlapplikationen bei teilflächenspezifischer Düngung ausgeschlossen werden (vgl. Kapitel 2.1.6.2).

- Fehler durch das Streubild der Querverteilung

Große Abweichungen der Verteilgenauigkeit werden von der Form des Querverteilungsstreubildes verursacht. Bei der Simulation der Verteilung bei verschiedenen Ausbringmengen in benachbarten Fahrspuren wird deutlich, dass Streubilder mit einer dreieckigen Grundform in der Lage sind, den stetigen Anstieg quer zur Fahrtrichtung von einer Ausbringmenge zur nächsten zu gewährleisten. Bei Streubildern mit Trapez- oder Rechteckform ist der Anstieg dagegen eher stufenartig, was die Gesamtverteilung negativ beeinflusst (Persson 1998).

Das Streubild der Centre-Line-Maschine ist aufgrund größerer Überlappung der Einzelstreubilder weniger empfindlich gegenüber Durchflussmengenänderungen. Die geringere Überlappung der Einzelstreubilder bei Off-Centre-Line-Maschinen ermöglicht es hingegen, die Streuscheiben einzeln anzusteuern und die Ausbringmengen für je eine Teilbreite einzeln zu regeln. Diese Technik bietet trotz großer Arbeitsbreiten eine verbesserte Anpassung der Verteilung an kleinräumige Variationen im Schlag.

Die Ergebnisse zeigen den starken Einfluss der physikalischen Düngereigenschaften auf die Streubilder. Als Service wird von verschiedenen Herstellern angeboten, die physikalischen Eigenschaften der Düngersorten zu messen. Diese werden einem bestimmten Wurfverhalten zugeordnet. Die Zuordnung kann nur erfolgen, wenn eine gleichbleibende Düngerqualität garantiert werden kann, was unter Praxisbedingungen sehr schwierig ist.

- Fehler durch die Ausdehnung und Überlappung der Streubilder

Die Simulation der Gesamtdüngerapplikation anhand eines Beispielschlages hat gezeigt, dass die große Ausdehnung der Streubilder von Zentrifugalstreuern sich negativ auf die Möglichkeiten zur kleinräumigen Applikation auswirkt. Die Streubilder der Zentrifugalstreuer sind für kleinräumige Applikationen teilweise zu lang und zu breit. Die Fehler nehmen mit steigender Arbeitsbreite weiter zu. Darüber hinaus lassen sich individuelle Fahrspuren kaum regeln, wenn die Wurfweiten deutlich größer als die Arbeitsbreiten sind. Hier stehen die Empfindlichkeit der Streubilder auf Durchflussmengenänderung der Regelbarkeit kleiner Einheiten gegenüber (Marquering 2002).

In der Praxis wird der **Kalibrierung** oder der Suche nach der richtigen **Einstellung** nur wenig Zeit gewidmet. Die Empfehlung geht daher in die Richtung, einen Düngerstreuer auszuwählen, der ein gutes Gesamtbild ohne zu große Ausreißer nach oben oder unten abliefern. Weit entwickelte, aber **aufwendige Optimierungsverfahren** haben keine Chance, in der landwirtschaftlichen **Praxis** umgesetzt zu werden.

Die Notwendigkeit, die Technik speziell für teilflächenspezifischen Einsatz weiterzuentwickeln, ist gerade bei den Düngerstreuern offensichtlich. Durch Kompensieren des Einflusses der Durchflussmengenänderung auf das Streubild (Mengeneffekt) könnte die Arbeitsqualität aller Streuer gesteigert werden. Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass Informationen, die vom Fahrer aus dem Gefühl heraus verarbeitet werden, in der (teil-)automatisierten Applikation nicht verloren gehen. Darüber hinaus müssen die inzwischen am Markt vorhandenen Kontrollmöglichkeiten wie z.B. Wiegerahmen zur Kontrolle der tatsächlichen Ausbringmenge eingesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass es im Bereich der variablen Düngerapplikation einen Interessenkonflikt gibt. Der Entwicklung zu immer größeren Arbeitsbreiten steht die kleinräumige Auflösung für PA entgegen. Gerade um die für die Stickstoffdüngung wichtigen Einflussparameter anzusprechen, ist in vielen Fällen eine Auflösung um 10 m x 10 m notwendig. Ein weiterer Effekt bei Zentrifugalstreuern liegt darin, dass große Wurfweiten und mehrfache Überlappung der Streukegel dazu genutzt werden, ungleichmäßige Streubilder auszugleichen. Dies behindert allerdings die Ansteuerung in kleinräumigen Segmenten.

Um beides zu erreichen, müssen Düngerstreuer mit großen Arbeitsbreiten entwickelt werden, die in der Lage sind, Teilbreiten getrennt anzusteuern. Das ließe sich mit Auslegerstreuern bewerkstelligen. Ein weiteres Argument für den Auslegerstreuer ist der geringere Einfluss der physikalischen Düngereigenschaften auf die Arbeitsqualität (im Gegensatz zum großen Einfluss beim Zentrifugalstreuer). Nachteil des Auslegerstreuers ist der höhere Preis, der durch weitere Steue-

rungsmechanismen noch weiter ansteigen wird. Es bleibt somit fraglich, ob sich diese Technik in der Praxis trotz ihrer Vorzüge durchsetzen wird.

Für die Praxis sind die Bedienung, Funktionalität und Kompatibilität der Maschinen und Komponenten von vorrangigem Interesse. Die Weiterentwicklungen müssen daher unbedingt einfache (semi-) automatisierte Kalibriervorgänge und Einstellungsfindung sowie Möglichkeiten zu einfachem Umsetzen und echter Mehrfachnutzung beinhalten.

### 2.1.6.2 Technikvergleich GPS Empfänger

Im Projekt werden auf Grund der höheren Genauigkeit vornehmlich DGPS-Empfänger eingesetzt. Seit der Abschaltung der Selective Availability (s/a) im Mai 2000 wird zunehmend der Einsatz von reinen GPS-Empfängern ohne Korrektursignal diskutiert.

Zur Analyse der Zuverlässigkeit und Genauigkeit in der Positionierung wurden:

- ⇒ stichprobenartig Praxiseinsätze begleitet und Vergleichsmessungen mit hochgenauen kinematischen GPS-Systemen vorgenommen. Hierzu ergaben sich Kooperationen mit Frank Schmidt von der Uni Rostock und mit Patrick Noack von der Firma geo-konzept.
- ⇒ in Zusammenarbeit mit dem Danish Institute for Agricultural Science (DIAS) rund um das Research Centre Bygholm (RCB) Versuche zur Bestimmung der Zuverlässigkeit, Positionsgenauigkeit und Wiederholgenauigkeit von D/GPS Empfängern unternommen. Die Auswertung hierzu wurde durch Herrn Boris Resnik von der Universität Rostock unterstützt.

#### Genauigkeitsmaße für GPS

Im Zusammenhang mit D/GPS-Empfängern sind viele unterschiedliche Begrifflichkeiten zur Bezeichnung der Genauigkeiten im Umlauf, daher soll hier zunächst festgelegt werden, welche Begriffe verwendet werden. Hierbei wurden die Begriffe wie bei R. Buick (2002) verwendet.

- ⇒ **Die Positionsgenauigkeit** ist ein Maß dafür, wie nah ein Messwert an der tatsächlichen Position ist. Es gilt, zwei Maße zu unterscheiden, die absolute und die relative Genauigkeit. Zusätzlich kann die Genauigkeit auf zwei Arten gemessen werden, statisch oder dynamisch.
- ⇒ **Absolute Genauigkeit** ist die Genauigkeit der Positionierung im Verhältnis zur wahren Position, in der Regel meint man hiermit die Daten der Landesvermessungsbehörden.
- ⇒ **Relative Genauigkeit** ist die Genauigkeit relativ zu einer lokalen Position, im Zusammenhang mit Lenkhilfen oft auch als „Pass-to-Pass“-Genauigkeit bezeichnet.
- ⇒ **Statische Genauigkeit** ist die Genauigkeit eines GPS-Empfängers, die während einer stationären Messung ermittelt wurde. Dies ist der Wert, der normalerweise von den Herstellern zur Klassifizierung der Geräte angegeben wird.
- ⇒ **Dynamische Genauigkeit** ist ein Wert, der während einer dynamischen Messung ermittelt wurde. Dazu wird der Empfänger in der Regel auf ein Fahrzeug montiert und Daten während der Fahrt erhoben.
- ⇒ Die **Streuung** der Messwerte horizontal oder vertikal ist unabhängig von der Positionsgenauigkeit (des Mittelwertes). Sie ist ein Maß für die Variabilität der Messwerte.

⇒ Die **Wiederholgenauigkeit** ist ein Maß für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse einer Genauigkeitsmessung eines Empfängers an unterschiedlichen Tagen und Orten. Sie wird aus absoluter Genauigkeit und der Streuung der Werte abgeleitet.




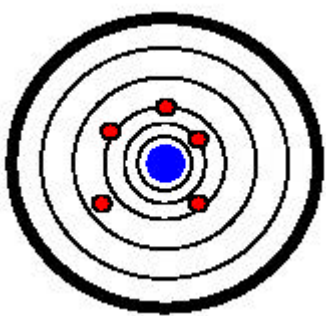
	
<p>A. Hohe absolute Positionsgenauigkeit, geringe Streuung</p>	<p>B. Niedrige absolute Positionsgenauigkeit, geringe Streuung, hohe relative Genauigkeit möglich</p>
	
<p>C. Geringe Positionsgenauigkeit, hohe Streuung</p>	<p>D. Hohe (mittlere) Positionsgenauigkeit, hohe Streuung</p>

Abb. 2.1-13: Definition der verwendeten Maße für Positionsgenauigkeiten (nach R. Buick, 2002)

### 2.1.6.2.1 Messungen beim Feldeinsatz, Stichproben

Zur Bewertung der Genauigkeit der GPS-Technologie im Feldeinsatz wurden stichprobenartig die differenzierten Applikationen begleitet und mittels cm-genauem GPS parallel gemessen. Die Abweichungen von der tatsächlichen zur gemessenen Position lagen im Großteil der Fälle unter 5 m. Es ergaben sich im Einzelfall aber Abweichungen bis zu 20 m. Problematisch sind Abschattungen, stark kuppertes Gelände und Hochspannungsleitungen (Abb. 2.1-14). Besonders schlecht einzuschätzen, weil exogene Störgrößen, sind z. B. Gewitter und unterschiedliche Messgeräte.

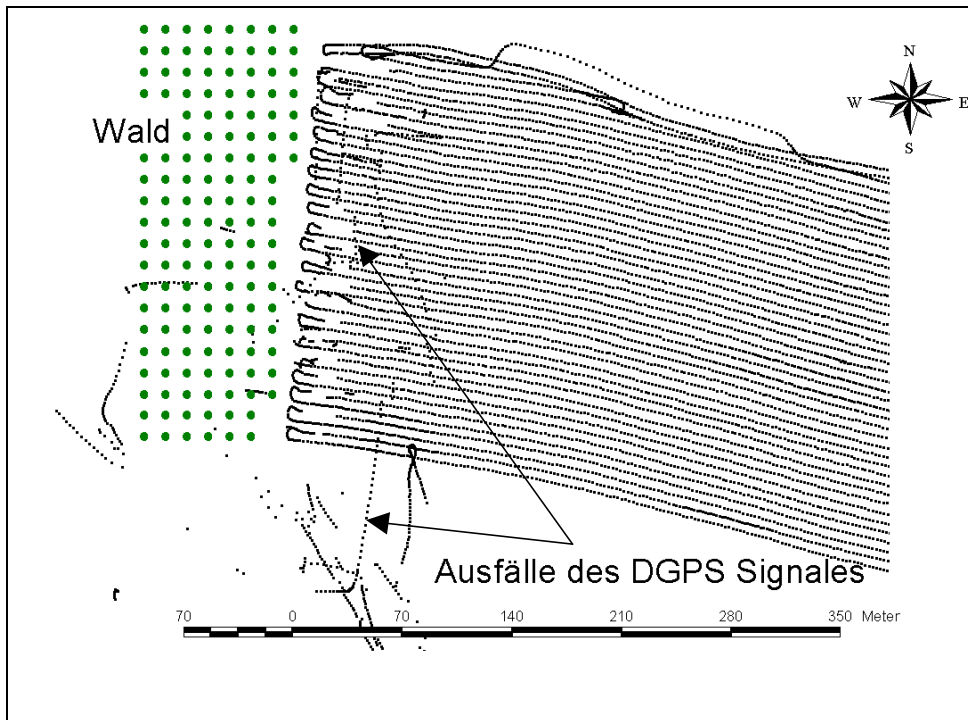


Abb. 2.1-14:  
Effekte der Abschattung durch dichten Baumbestand. Die Pfeile deuten auf fehlerhafte Positionen durch Verlust des DGPS-Signals beim Annähern an die Waldgrenze.  
Trimble AgGPS132, 12 Kanal DGPS-Empfänger, Korrektursignal Omnistar.

### 2.1.6.2.2 Langzeitversuche DK

In Zusammenarbeit mit dem Danish Institute for Agricultural Science (DIAS) wurden um das Research Centre Bygholm (RCB) Versuche zur Bestimmung der Zuverlässigkeit, Positionsgenauigkeit und Wiederholgenauigkeit von D/GPS-Empfängern unternommen. Die Versuche sind über einen Zeitraum von einem Jahr in wöchentlichen Abständen wiederholt worden. Positionen wurden in statischen sowie dynamischen Versuchen gemessen.

Während der statischen Versuche wurden jede Woche an 10 festgelegten Punkten jeweils eine Minute lang Daten gespeichert. Außerdem wurde an einigen der Punkte in unregelmäßigen Abständen Messungen von 1 Stunde Dauer durchgeführt, um die Langzeitstabilität (Streuung) der Positionssignale zu prüfen. Diese Punkte sind durch das örtliche Landesvermessungsamt eingemessen, die absolute Positionsgenauigkeit wurde bestimmt.

Zwei unterschiedliche Messungen wurden bei den dynamischen Versuchen durchgeführt:

Im ersten Teil wurde ein Fahrspursystem in einem 3 ha Feld abgefahren. Zunächst folgen die Fahrspuren in 12 m Abstand der Ost-West Richtung, dann Nord-Süd Richtung und anschließend im 8,5 m Abstand in 45° diagonal zu den vorherigen Richtungen. Die Referenz-Positionen für das Fahrgassensystem wurde mit Hilfe des cm-genauen 4000ssi kinematischen GPS-System von Trimble eingemessen. Die Geschwindigkeit im Feld war 10 km/h.

Der zweite Teil der dynamischen Messungen wurde als Straßenfahrt entlang einer 16,5 km langen Strecke durchgeführt. Die Strecke geht größtenteils durch Wald und am Waldrand entlang, dann über offenes Feld an einer Hochspannungsverteilerstation vorbei und zwischen einigen Gebäuden hindurch. Dieser Ablauf ist dazu gedacht, die Empfangsbedingungen künstlich zu erschweren, um die Unterschiede in der Empfängerleistung besser herausarbeiten zu können. Die Vorfahrtgeschwindigkeit bei diesem Versuch ist 20 km/h. Für diese Strecke gibt es wegen der erschwerten Empfangsbedingungen keine Referenzdaten. Die Ergebnisse werden statt dessen

von Woche zu Woche miteinander verglichen, um die Wiederholgenauigkeit der Positionsangaben zu prüfen (relative Genauigkeit). Die Genauigkeit der Fahrspur liegt auf dieser Strecke entlang öffentlicher Straßen bei ca. 1 m.

Alle Positionen sind im WGS84-Format gespeichert und später in metrische Werte transformiert. Das Gebiet der Versuchsdurchführung liegt bei 9,81E und 55,80N.

**Ergebnisse, Statische Versuche**

Die Wiederholungen der statischen Versuche an den 10 festgelegten Punkten, bei denen 1 Minute lang Daten gespeichert werden, zeigen, dass die Positionsgenauigkeit von Woche zu Woche schwankt. Die Genauigkeit hängt von der Position des Empfängers (offene Fläche, zwischen Häusern, nahe an Bäumen etc.) und zusätzlich vom Empfängerfabrikat ab. Zusätzlich wird beobachtet, dass die Genauigkeit in Nord-Süd-Richtung (Long) schlechter ist als in Ost-West-Richtung (Lat). In Tabelle 2.1-11 ist der Mittelwert des Beobachtungszeitraumes sowie die Standardabweichung der Kurzversuche exemplarisch für zwei Punkte aufgetragen.

Tab. 2.1-11: D/GPS-Positionsdaten, Absolute Genauigkeit, Standardabweichungen der Kurzversuche (Dauer eine Minute), wöchentliche Wiederholungen der statischen Messungen, Zeitraum vier Wochen.

Empfänger	Punkt 4 – Baumbestand in ca. 5 m Entfernung				Punkt 7 – Freies Feld			
	Mittelwert [m]		Std. Abw. [m]		Mittelwert [m]		Std. Abw. [m]	
	Lat	Long	S Lat	S Long	Lat	Long	S Lat	S Long
Landvermessung	3027,28	348,90			2325,92	202,95		
Trimble 4000ssi Referenzsystem	3026,92	348,68	<b>0,0032</b>	<b>0,0098</b>	2325,92	202,95	<b>0,0041</b>	<b>0,0093</b>
GPS	3025,50	350,75	<b>1,29</b>	<b>2,63</b>	2324,99	204,67	<b>0,95</b>	<b>1,41</b>
DGPS – FMspot	3025,56	350,69	<b>2,36</b>	<b>3,32</b>	2326,01	202,25	<b>0,65</b>	<b>1,2</b>
DGPS – Racal Satellit	3027,22	348,84	<b>0,83</b>	<b>1,4</b>	2325,50	202,99	<b>0,35</b>	<b>1,01</b>

Tab. 2.1-12: Mittlere Punktfehler der verschiedenen Empfängertypen, absolute Genauigkeit im Verhältnis zu der Position vom Landesvermessungsamt. Mittlerer Punktfehler =  $\sqrt{v_{S\,Lat}^2 + v_{S\,Long}^2}$

Mittlerer Punktfehler [m]	GPS	DGPS FM Spot	DGPS Satellit
Punkt 4 (Bäume in 5 m)	2,5	2,42	0,34
Punkt 7 (freies Feld)	1,96	0,70	0,42

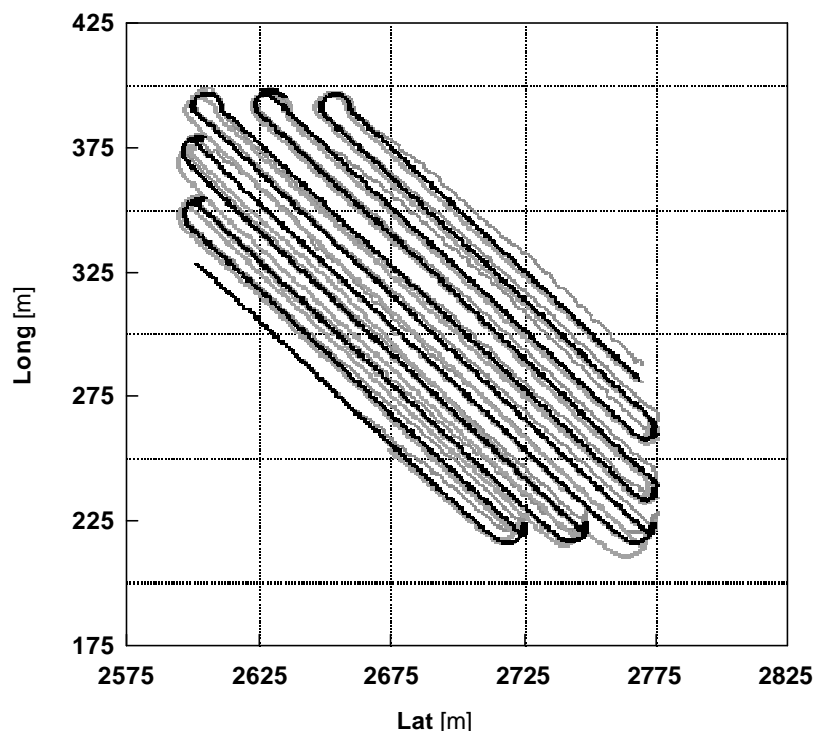
Die Langzeitmessungen von einer Stunde Dauer ebenso wie die kurzen Messungen zeigen vergleichbare und klassifizierbare Genauigkeitsunterschiede. Deutlich ist der Einfluss der Bäume auf die Empfangsqualität und die Positionsgenauigkeit. Der Fehler ist außerdem richtungsabhängig, d.h. er ist in Nord-Süd Richtung ca. 2-3 mal größer als in Ost-West Richtung. Das hängt mit

der Satellitenkonstellation zusammen (keine Abdeckung über den Polargebieten) (Trimble 2000).

### Ergebnisse, Dynamische Versuche

Die Ergebnisse der dynamischen Versuche zeigen deutlich größere Abweichungen als die stationären Messungen. Sie bestätigen aber auch die Tendenzen der statischen Messungen, d.h. die Fehler sind nicht konstant, und der Fehler in Nord-Süd-Richtung ist ca. 2-3 mal größer als in Ost-West-Richtung.

In Abbildung 2.1-15 ist eine Messfahrt mit mehreren auf einem Fahrzeug montierten Empfängern dargestellt. Die schwarze Linie stellt das Trimble 4000ssi kinematische Referenzsystem dar, die grauen Linien sind die D/GPS-Empfänger. Die Positionsdaten aller Empfänger sind fehlerbehaftet, aber wie in den statischen Tests ist eine Klassifizierung in Güteklassen möglich. Die Entfernung zwischen den diagonalen Fahrspuren beträgt 8,5 m. Beim Analysieren der Daten zeigt sich, dass der größte Fehler des GPS-Empfängers 8 m beträgt während die DGPS-Empfänger deutlich geringere Fehler bis ca. 3 m aufweisen.



— Referenzlinie mit Trimble 4000ssi      — Meßdaten der D/GPS Empfänger

Abb. 2.1-15: Positionsdaten verschiedener Empfänger während einer Überfahrt aufgezeichnet. Entfernung der Fahrspuren 8,5 m. Maximaler Fehler in Nord-Süd Richtung 8 m.

Die Ergebnisse der Fahrt über die 16,5 km lange Strecke zeigen, dass die Empfangsqualität im bewaldeten Teil stark eingeschränkt ist. Deutlich wird, dass die **Empfangsstabilität** allein kein Qualitätskriterium ist. Der GPS-Empfänger zeigte zwar kaum Signalverlust, hatte aber Positio-

nierungsfehler von 20 - 25 m zu verzeichnen. Die DGPS und besonders das RTK-System zeigten hier Signalstörung und gaben im Zweifelsfall keine Position an.

### 2.1.6.2.3 Dynamische Messungen über 24 h, DK

Nach festgestellten starken Abweichungen bei den Wiederholungsmessungen, wurde ein 24 Stunden Dauertest im Feldeinsatz durchgeführt. Dazu wurde dasselbe Fahrspursystem im 3 ha Feld abgefahren wie bei den vorhergehenden Versuchen. Die Geschwindigkeit im Feld mit 10 km/h wurde ebenso beibehalten. Alle Positionen wurden im WGS84-Format gespeichert und später in metrische Werte transformiert. Die Empfänger wurden alle auf: Elevation-mask 10°, PDOP-mask 6, Aufzeichnungsrate 1 sec eingestellt.

Im 24 h-Versuch wurden 7 D/GPS Empfänger geprüft. Die Referenzpositionen wurden mit Hilfe des cm genauen 4000ssi kinematischen GPS-Systems (post processing) von Trimble gemessen. Die Antennen wurden auf einen Metallrahmen montiert, Anordnung siehe Abbildung 2.1-16.

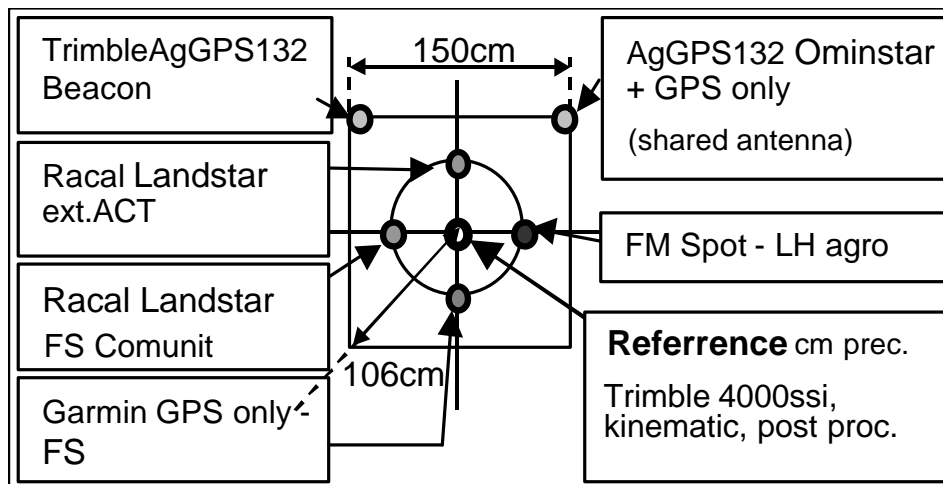


Abb. 2.1-16: Antennenanordnung, Draufsicht

Zur Auswertung wurde der in der Geodäsie übliche Mittlere Punktfehler herangezogen. Die Berechnung des Mittleren Punktfehlers (MPF) erfolgt über die getrennte Berechnung der Standardabweichung für Nord- (Hochwert) und Ostrichtung (Rechtswert).

$$\text{Mittlerer Punktfehler} = \sqrt{s_{\text{Lat}}^2 + s_{\text{Long}}^2}$$

Der Mittlere Punktfehler ist nur eine von vielen in der Literatur verwendeten Genauigkeitsangaben, er bezieht hier nach der einfachen Standardabweichung 68.3% der Punkte ein. Oft wird auch mit zwei- bzw. dreifacher Standardabweichung (95.4% bzw. 99.7%) gerechnet. In amerikanischer Literatur findet sich die Bezeichnung ‚Root Mean Square‘ (RMS), diese wird allerdings für unterschiedlichste Werte benutzt. Am häufigsten wird der Wert ‚Distance Root Mean Square‘ (dRMS) analog zum Mittleren Punktfehler verwendet. Oft wird auch der CEP (Circular Error Propable) beschrieben, ein Fehlerkreis, der sich auf 50 % der Punkte bezieht, daher sind die dort angegebenen Abweichungen i.d.R. kleiner.

Die Ergebnisse sind genau genommen relative Genauigkeiten, da als Referenz ein anderes GPS-System zum Einsatz gekommen ist. Da es sich um ein hochgenaues System handelt, können die Werte als quasi absolute Genauigkeit betrachtet werden.

### Ergebnisse, 24 h Messungen

Die Versuchsergebnisse aus der 24h-Messung im Feldeinsatz zeigen deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Empfängern. Allerdings ist das Niveau generell sehr gut, das liegt vor allem an den (vielleicht zu) günstigen Bedingungen auf dem Testfeld und an dem Versuchsaufbau. Der Versuchsaufbau mit dem hochgenauen GPS-System als Referenz hat zur Folge, dass bei einem Datenausfall aufgrund von ungünstigen Bedingungen beim Referenzempfänger die Daten der D/GPS-Empfänger mit ebenfalls ungenaueren Positionsangaben nicht ausgewertet werden können. Die Anordnung der Antennen mit unterschiedlich großem Abstand zur Referenzantenne machte Probleme bei der Auswertung der Versuche (Tab. 2.1-13).

Tab. 2.1-13: Vergleich der Positionierungsgenauigkeit von 6 Empfängern, Summe über 24h- Feldeinsatz

GPS-Empfänger	Anzahl der Messungen	Nord [m]		Ost [m]		[m]	
		Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	Mittlerer Punktfehler	(Exzentrizität der Antennen korrigiert)
Trimble AgGPS 132 12 Kanal Empfänger <b>ohne</b> Korrektursignal	65465	2.1	0.4	2.2	0.6	3.0	2.8
Trimble AgGPS 132 - Küstenfunk 12 Kanal Empfänger <b>mit</b> Korrektursignal	7619	0.9	0.1	1.1	0.8	1.4	0.9
Trimble AgGPS 132 - Küstenfunk - Korrektursignal ausgefallen 12 Kanal-Empfänger <b>ohne</b> Korrektursignal	57438	2.0	0.6	1.9	1.0	2.7	2.5
Trimble AgGPS 132 - Satellitenkorrektursignal OMNISTRAR 12 Kanal-Empfänger <b>mit</b> Satellitenkorrektursignal	65085	1.3	-0.1	1.3	0.2	1.9	1.6
GARMIN-GPS Mouse Fieldstar Lösung <b>ohne</b> Korrektursignal	61813	2.3	1.0	2.2	0.6	3.2	3.2
RACAL Landstar MkIV - Externer Empfänger für ACT 8 Kanal-Empfänger <b>mit</b> Satellitenkorrektursignal	59619	1.4	-0.3	1.4	-0.2	2.0	2.0
Racal Landstar in FIELDSTAR Comunit 8 Kanal-Empfänger <b>mit</b> Satellitenkorrektursignal	60266	1.8	-0.3	1.7	-0.2	2.5	2.5

Da das Fahrspursystem Nord-Süd, Ost-West und diagonal während der 24 h in jede Richtung etwa gleich oft befahren wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Exzentrizität der GPS-Antennen zur Referenzantenne nicht mit der Streuung der Werte korreliert. Daher konnte die Exzentrizität nachträglich vom Ergebnis abgezogen werden.

$$\text{Mittlerer Punktfehler}_{\text{Korr}} = \sqrt{\text{vMPF}_{\text{EX}}^2 - \text{EX}^2}$$

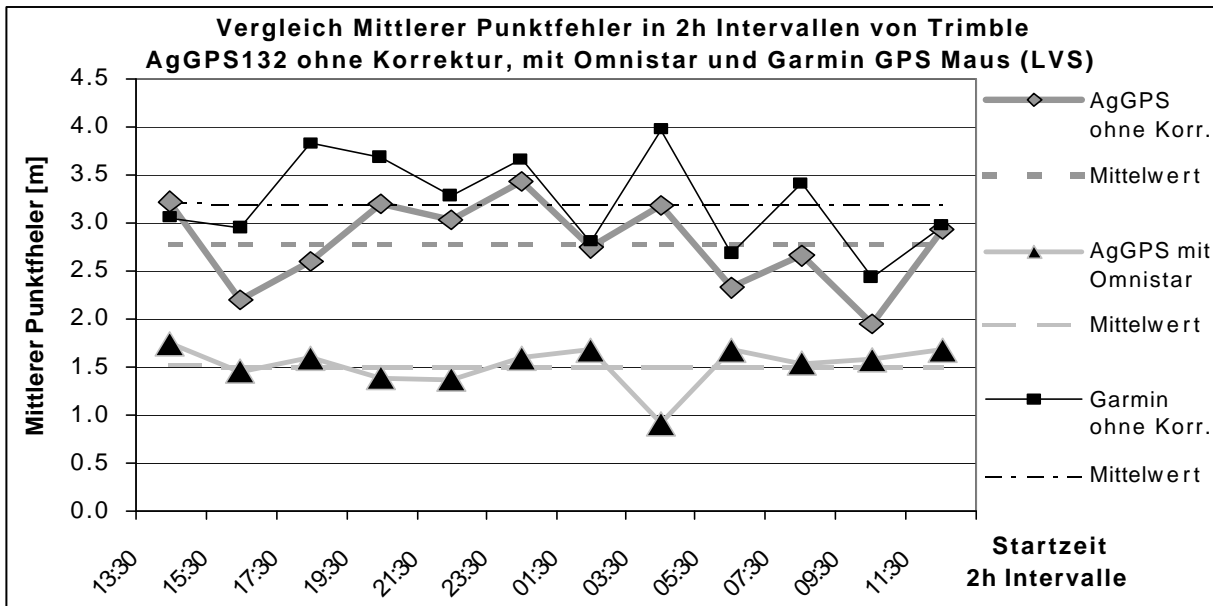


Abb. 2.1-17: Vergleich der Mittleren Punktfehler über 24 h in 2 h-Intervallen für 3 verschiedene Empfängertypen

Aus den Daten lassen sich die zeitlichen Verläufe (Abb. 2.1-17) und die unterschiedlichen Einflüsse auf die einzelnen Empfänger (Tab. 2.1-13) nachvollziehen.

Eine der Fragestellungen bei dieser Messung war, ob ein Korrektursignal nach wie vor notwendig ist oder nicht. Der Vergleich der Mittleren Punktfehler zeigt den Einfluss des Korrektursignals auf die Positionierungsgenauigkeit (MPF bei gleichem Empfänger: 2,8 m ohne Korrektursignal bzw. 1,6 m mit Korrektursignal). Auch die Qualität des GPS-Empfängers macht einen wenn auch geringeren Unterschied. Bei diesem Versuch ist aufgrund von ungedämpften Maschinenschwingungen das Küstenseignal die meiste Zeit ausgefallen. Es bestätigt sich, dass die satellitengestützten Korrekturdienste die zuverlässigeren DGPS-Systeme bilden.

#### 2.1.6.2.4 Schlussfolgerungen Technikvergleich GPS-Empfänger

Die Zuverlässigkeit, Positionsgenauigkeit und Wiederholungsgenauigkeit der landwirtschaftlich genutzten D/GPS-Empfänger ist unterschiedlich. Die Signalstabilität und Positionsgenauigkeit verhalten sich konträr. Darüber hinaus gibt es unterschiedliche Anforderungen an die Positionsgenauigkeiten; die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Empfängertypen wurden klar definiert (Tab. 2.1-14).

Für eine Mehrfachnutzung der Systeme muss immer die höchste Genauigkeitsanforderung ausschlaggebend sein. Für den überwiegenden Teil der Anwendungen wird nach wie vor empfohlen, mit **Differential-GPS-Systemen** zu arbeiten.

Beispielsweise wird für die Feldvermessung mit Datenablage im GIS eine hohe absolute Genauigkeit gefordert, um georeferenzierte Daten von unterschiedlichen GPS-Empfängern und unterschiedlichen Zeitpunkten in ein System einpflegen und eindeutig zuordnen zu können. Als Empfehlung sollte hierfür mindestens ein Class I-Empfänger oder darüber genutzt werden.

Für Lenkhilfen wird eine hohe relative Genauigkeit („pass-to-pass“) benötigt, dazu ist mit heutigem Stand der Technik ein Korrektursignal unerlässlich. Empfehlung hierzu ist mindestens ein Class II-Empfänger mit 5Hz Position Update Rate.

Tab. 2.1-14: Einsatzmöglichkeiten unterschiedlicher GPS-Empfänger

GPS-Genauigkeitsklasse	<b>Class 0</b>	<b>Class I</b>	<b>Class II</b>	<b>Class III</b>	<b>Class IV</b>
GPS-System	<b>GPS</b>	<b>DGPS</b>	<b>DGPS</b>	<b>DUAL Frequency GPS</b>	<b>RTK GPS</b>
Einsatzgebiete	Logistik Feldbegehung Bonituren Flächenaufmaß	Ertragskartierung VR-Applikation Feldbegehung Probenahme Flächenaufmaß	Ertragskartierung VR-Applikation Feldbegehung Probenahme Feldgrenzen Lenkhilfen	Ertragskartierung VR-Applikation Feldbegehung Probenahme Feldgrenzen Lenkhilfen Vermessung Autonome Fahrzeugsteuerung	Ertragskartierung VR-Applikation Feldbegehung Probenahme Feldgrenzen Lenkhilfen Vermessung Autonome Fahrzeugsteuerung Steuerung in Reihenkulturen Einzelpflanzenpositionen
Garantierte Positionsgenauigkeit (stationär/absolut)	<b>~ 10 m</b>	<b>1-5 m</b>	<b>&lt; 1m</b>	<b>10 – 30 cm</b>	<b>&lt; 5cm</b>
Signalstabilität	Hoch	Mittel	Mittel	Gering	Gering
Signalqualität	Gering	Mittel	Gut	Gut / Sehr gut	Sehr gut
Preisklasse ab	200,-€	1000,-€	2500,-€	6000,-€	30000,-€

Zweifrequenz- oder Dual-Frequency-Empfänger (Class III) mit einer Genauigkeit im Dezimeterbereich sind erst seit kurzem auf dem Markt. Die beschriebenen Fähigkeiten müssen die Empfänger in der Praxis noch unter Beweis stellen. Besonders die Zuverlässigkeit und Empfangstabilität sowie kurze, praxisgerechte Initialisierungsphasen sind momentan noch nicht gewährleistet. Hierzu werden mit Weiterentwicklung der Empfänger auch weitere Prüfungen notwendig, um die Klassifizierung zu präzisieren und dem Anwender die Auswahl des geeigneten Empfängers zu erleichtern. Das gilt besonders auch im Hinblick auf weitere Präzisionsanforderungen z.B. für den Einsatz von mechanischen Hacken bei Reihenfrüchten, Einzelpflanzenbonituren in Sonderkulturen oder autonom gesteuerten Fahrzeugen.

### 2.1.7 Kooperationen mit anderen (Teil-) Projekten

Das TP I-1 Fachlich-technische Betreuung ist Schnittstelle für Betriebe, Hersteller und Projektmitarbeiter. Es hilft, den reibungsarmen Ablauf der Praxiserprobung zu gewährleisten. Der Technikvergleich kann zudem als Dienstleistung für die agronomisch orientierten TP's gesehen werden –so können die Resultate der pflanzenbaulichen Versuche entsprechend den realen Möglichkeiten und Toleranzen der PA-Technik geplant und anschließend bewertet werden.

Im Bereich **Technikvergleich** wurden in Kooperation mit dem Danish Institute for Agricultural Science (DIAS) im Research Centre Bygholm, DK (RCB) die Schwerpunkte Düngerstreuer und GPS-Prüfung bearbeitet. Durch die Kooperation mit RCB in Dänemark konnte auf die dort vorhandene Prüfhalle und das Expertenwissen im Bereich der teilflächenspezifischen Düngung zurück gegriffen werden. Das ermöglichte eine umfassende Beurteilung.

Die Kooperation mit dem DIAS, RCB, Horsens, DK im Bereich der Arbeitsqualitätsprüfung von Düngerstreuern und GPS-Empfängern war sehr fruchtbar. Synergieeffekte in der Zusammenarbeit, sowie der Know-how-Transfer haben die Arbeit enorm bereichert und die Qualität der Ergebnisse positiv beeinflusst.

Im Zusammenhang mit der Prüfung der Arbeitsqualität der Düngerstreuer und darüber hinaus entspann sich ein intensiver Austausch mit Robin Gebbers, TP III-4 ‚Düngung‘.

Für die Prüfung der GPS-Empfänger wurden Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Geräte als grundlegende Kriterien festgelegt und in Kooperationen mit Frank Schmidt, Universität Rostock, TP II-1b ‚Relief‘ und Patrick Noack, geo-konzept, TP II-5 ‚Aufbereitung Ertragskartierung‘ Prüfungen unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt. Statistische Auswertungen unterstützte Boris Resnik, Universität Rostock.

Die Arbeitsqualität bei der Aussaat wurde durch Pflanzenzählungen bei den Bonituren vom Teilprojekt III-2 ‚Bestandesführung‘ ermittelt. Die Zählungen ergaben Standardabweichungen im Regelfall unter 10%. Grobe Fehler kamen durch falsche Grundeinstellung der Ausbringmenge zustande. Exakte Einstellung und sorgfältiges Kalibrieren der Maschinen ist wie überall und speziell im precision agriculture Grundvoraussetzung für gute Arbeitsqualität.

#### **Erfolgte Nutzung der Themenergebnisse im Verbundprojekt**

Aus den Messungen zur Zuverlässigkeit der DGPS-Systeme entspann sich eine angeregte Diskussion um die benötigte Präzision bei der differenzierten Bewirtschaftung. Die Meinungen der Praktiker divergieren zu diesem Thema sehr stark. Zur Erstellung einer Ertragskarte ist es sicherlich ausreichend mit einer Genauigkeit um 5 m zu arbeiten. Bei Bodenbearbeitung oder Aussaat ist eine höhere Genauigkeit von Interesse.

Durch die Qualitätsprüfungen der Düngerstreuer ergab sich ebenfalls ein konstruktiver Meinungsaustausch, es wurde auf die Notwendigkeit der genauen Kalibrierung der Maschinen hingewiesen, um optimale Ergebnisse mit teilflächenspezifischen Maßnahmen zu erreichen.

Durch das Zusammenlaufen der Informationen zum Thema Technik an einer zentralen Stelle im Verbundprojekt ergab sich hier die Möglichkeit, Fehlerquellen besser einschätzen zu können.

Die Unterstützung zu technischen Fragestellungen, Problemen und Möglichkeiten wurde sowohl von Anwenderseite als auch durch die Projektmitarbeiter gerne in Anspruch genommen.

### **2.1.8 Diskussion**

Durch die zentrale Position als Schnittstelle zwischen Anwendern, Wissenschaftlern und Herstellern von PA-Technik ergibt sich eine gute Übersicht der momentanen Situation. Nach der Einschätzung des TP I-1 sind Probleme mit der Technik ein Hindernis bei der Einführung von precision agriculture. Sie führen zur Verunsicherung der Anwender und haben abschreckende Wirkung auf neue Interessenten. Die Mehrzahl der Projektteilnehmer gibt an, dass sie sich im Moment ohne externe Unterstützung nicht in der Lage sehen, PA umzusetzen. Daher wurde die folgende CHECKLISTE FÜR PA-TECHNIK für potentielle Interessenten entwickelt.

#### ALLGEMEIN

- Kompatibilität für Soft- u. Hardware-Komponenten (LBS- bzw. ISO- Norm)
- Zuverlässigkeit der Software und Elektronikkomponenten

#### HARDWARE

- Einfache Kalibriersysteme, reduzierter Zeitaufwand
- Kontrollsensorik: ‚as-applied‘-Karten
- Neue Entwicklungen speziell für teilschlagspezifische Bewirtschaftung

#### SOFTWARE

- Vergleichbarkeit der Daten, einheitliche Filter- und Interpolationsmethoden
- Einheitliche Datenformate, Rastergrößen etc. für GIS-Programme
- Durchgängig kompatible Datenformate für alle landwirtschaftliche Software

#### MANAGEMENT

- Gut vorbereiten und informieren
- Realistische Erwartungen formulieren
- Heterogenität der Flächen bestimmen

Die Industrie zeigte reges Interesse am Verbundprojekt *pre agro*. Gerade durch die Breite der bearbeiteten Themen sind viele Industriepartner aufmerksam geworden und haben das Projekt unterstützt. Die Ergebnisse wurden mit großem Interesse aufgenommen, die Bereitschaft zur Zusammenarbeit war von beiden Seiten groß und für beide Seiten sehr fruchtbar. Ein gemeinsames Ziel war es, über das *preagro*-Projekt hinaus klare Vorstellungen des Prinzips precision agriculture zu vermitteln.

Dazu war es teilweise sinnvoll, zunächst einfache Ansätze mit zuverlässiger Technik zu verfolgen, um dann schrittweise und von der Wissenschaft betreut komplexere Zusammenhänge zu bearbeiten. Extrem wichtig war die Aufklärungsarbeit. Realistischen Erwartungen standen oft unrealistische Hoffnungen auf die ‚Wunderwaffe precision agriculture‘ gegenüber. Eine Einschätzung des aktuellen Standes der Technik war oft ernüchternd, ist aber notwendige Voraussetzung für eine fundierte Diskussion.

Die PA-Technik ist - soweit vorhanden – funktionstüchtig, es gibt aber noch Lücken und erhebliche Einschränkungen bei der Zuverlässigkeit und Kompatibilität der Systeme. Heute eingesetzt

te PA-Technik ist i. d. Regel für eine einheitliche Applikation konstruiert, die Variation der Ausbringmengen beeinträchtigt daher oft die Arbeitsqualität. Der Erfolg einer Applikation hängt darüber hinaus stark vom Benutzer ab. Präzise Kalibrierung und wiederholte Kontrollen der Einstellung sind Voraussetzung für präzisen Ackerbau, mit oder ohne Variation der Ausbringmengen.

Es ist unbedingt notwendig, die Arbeitsqualität der Maschinen weiter zu optimieren und diese während des Einsatzes bei precision agriculture stärker zu kontrollieren. Die (Weiter-) Entwicklung von Sensorik für den Praxiseinsatz sowie unabhängige Qualitätsprüfungen sind dafür notwendig.

Die Funktionssicherheit der Elektronik-Komponenten ist noch nicht voll zufriedenstellend. Skepsis gegenüber der PA-Technik basiert u.a. auf Verunsicherung aufgrund mangelnder Funktionssicherheit. Nicht selten hängt der Erfolg einer Maßnahme von der Motivation des einzelnen Mitarbeiters ab. Unzuverlässige Systeme demotivieren jeden Mitarbeiter! Hersteller müssen weiter an der Systemsicherheit arbeiten, damit das Vertrauen in die PA-Technik weiter gestärkt wird.

Die Bedienung der precision agriculture-Systeme ist komplex, es bedarf intensiver Einarbeitung. Das gilt besonders auch für GIS-Software. Es muss weiter daran gearbeitet werden, den Einsatz von Soft- und Hardware sinnvoll zu vereinfachen, ohne die komplexen Zusammenhänge zu zerstören. Die **Verwaltung** der enormen Datenmenge muss überschaubar und unter vertretbarem Zeitaufwand zu erledigen sein. Hierzu müssen weitere Produkte, aber auch Standards erarbeitet werden.

Sowohl die Bedienung als auch die Mehrfachnutzung der Komponenten muss weiter vereinfacht werden. Notwendige Genauigkeiten und technische Standards müssen definiert und zu harmonisierten Lösungen weiterentwickelt werden.

### **2.1.9 Ausblick**

Die Bewertung der neuen Technik und ihrer Arbeitsqualität ist ein wichtiger Punkt für die Entscheidung zu precision agriculture. Nur exakte Arbeitsergebnisse der Maschinen rechtfertigen den Aufwand der Satellitenortung in der Landwirtschaft und können als Planungsgrundlage dienen. Gerade weil PA eine elektronikgestützte Maßnahmengestaltung ist, sind die Anwender skeptisch. Unterschiedliche Produkte und Meinungen wirken zusätzlich verunsichernd.

Das TP I-1 Fachlich-technische Betreuung erstellte eine Dokumentation der aufgetretenen Probleme mit der PA-Technik im preagro-Praxiseinsatz und leitete daraus Forderungen an die PA-Technik ab (vgl. Kapitel 2.1.5.2). Forschung und Entwicklung sind gemeinsam gefordert, die Technik (Soft- und Hardware) weiterzuentwickeln um sie kompatibel zu anderen Produkten, einfach in der Bedienung und dennoch präzise im Ergebnis zu machen.

#### **Aktuelle Entwicklungen in Forschung und Markt**

Immer mehr Hersteller bieten ihre High-End-Maschinen mit PA-Ausrüstung (teilweise sogar serienmäßig) an. Dabei greifen sie i.d.R. auf Mess- und Steuersysteme von bereits am Markt eingeführten Ausrüstern zurück. Das anfänglich große Interesse an der neuen PA-Technik hat

sich dennoch abgeschwächt. Mangelnde Zuverlässigkeit, unübersichtliche Produktvielfalt sowie falsche oder nicht erfüllte Erwartungen einiger Pioniere lassen potentielle Käufer zögern. Schwerpunkte in der Elektronikentwicklung werden zunehmend in Richtung Logistik, Dokumentation und Teleservice gesetzt.

In weiteren Entwicklungen wird die Nutzung des Managementsystems precision agriculture zur **Optimierung der Arbeitsprozesse** im Vordergrund stehen. Hier liegen große Einsparpotentiale die auch helfen, die Kosten für die PA-Technik zu verteilen. Die **Dokumentation** von Prozessdaten kann darüber hinaus auch als Qualitätsnachweis gereichen.

Die internationale Norm ISO 11783 zu Kommunikation und Datentransfer für Landmaschinen wird von der Industrie vorangetrieben. Diese Norm ist eine Weiterentwicklung der bereits existierenden LBS-Norm DIN 9684. Die Umsetzung dieser Norm und damit die Garantie auf leichte Austauschbarkeit der verschiedenen Elektronikkomponenten auch von unterschiedlichen Herstellern, vor allem aber die Kompatibilität von Schlepper zu Geräteelektronik sind absolute Grundvoraussetzung für eine breite Einführung von PA. Wichtig ist, dass die ISO-Norm zügig umgesetzt wird, damit sich die Akzeptanz von elektronikgestützten Managementsystemen in der Landwirtschaft erhöht.

### **Weitere Forschungen**

Der Technikvergleich der Düngerstreuer offenbart einen Interessenkonflikt, größere Arbeitsbreiten vs. kleinräumige Variationen, der nur durch neue Regelungstechniken gelöst werden kann. In Zukunft werden hierzu weitere Entwicklungsprojekte sowie Diskussionsrunden und Workshops notwendig.

Es ist unbedingt notwendig, die Arbeitsqualität der Maschinen während des Einsatzes bei precision agriculture besser zu kontrollieren. Die Weiterentwicklung der Sensorik für den Praxiseinsatz sowie unabhängige Funktionstests sind dafür notwendig.

Die Dokumentation von Prozessdaten kann sowohl zur Optimierung der Arbeitsabläufe als auch zum Qualitätsnachweis gereichen. Beides wird in Zukunft eine immer größere Bedeutung gewinnen. Die hierfür notwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeit muss bis zu fertigen technischen Lösungen weiter vorangetrieben werden.

## **2.1.10 Literatur a) verwendete, b) aus Projektarbeit entstandene eigene Publikationen**

### a) verwendete Literatur

Persson, K. (1998) Physical Qualities of Fertilisers and Variable Rate Spreading-Interactions, Proceedings N°424, The international Fertiliser Society, York, UK.

Ehlert, D. (1998) Ertragskartierung mit Feldhäckslern, Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 20, S. 49-58

Chaplin, J. (2000) A Method for Testing the Effectiveness of Fertilizer Spreaders for Precision Agriculture, Presentation at 5<sup>th</sup> Intl. Conference of PA, Minnesota, MN, USA

B. Resnik, R. Bill (2000) ‚Vermessungskunde für den Planungs-, Bau- und Umweltbereich‘, Wichmann Verlag

Trimble (2000) <http://www.trimble.com>

Griepentrog, H. W. (2001) Determining the position lag of fertiliser disc spreaders, Paper presented at the 3<sup>rd</sup> ECPA, Montpellier, France

Persson, K., Weltzien, C. (2001) ,Precision of Commercial Positioning Systems for Agriculture, 3<sup>rd</sup> ECPA, France

Weltzien, C., Persson, K. (2001) ,Decision Strategies for Variable Rate Fertilisation‘, 3<sup>rd</sup> ECPA, Montpellier, France

Schmittmann, O.; Kromer, K.-H.; Weltzien, C. (2001) ,Yield-Monitoring on Forage Harvester‘, PMA Prag 2001

R. Herbst, J. Lamp, G. Reimer,(2001) ,Inventory and Spatial Modelling of Soils on PA Pilot Farms in Various Landscapes of Germany‘, 3<sup>rd</sup> ECPA Montpellier, France

Persson, K., Weltzien, C. u.a. (2001) ,Spatial resolution for variable rate fertilisation‘ Workshop Protokoll

Persson, K., Weltzien, C. (2002) ,Variable Rate Fertilisation – Distribution Strategies‘, VDI-MEG Landtechnik Tagung 2002, Halle

Marquering, J (2002) ,Die Auswirkungen unterschiedlicher Stoffeigenschaften bei der Ausbringung von Mischdüngern mit Zentrifugaldüngerstreuern‘, Dissertation Fakultät IV – Agrarwissenschaften II, Universität Hohenheim

Buick, Roz (2002) ,GPS GUIDANCE - MAKING AN INFORMED DECISION‘ Presented at 6th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, MN, 14-17 July 2002

#### b) eigene Veröffentlichungen

Weltzien, C. (2001): Arbeitsqualität Düngerstreuer. Welche Genauigkeit braucht die teilflächenspezifische Landwirtschaft?, Landtechnik 4/2001, S. 293.

Weltzien, C., Kottenrodt, D. (2001): Einfaches Handling Fordern - Technische Probleme sind die größten Hindernisse bei der Einführung von Precision Farming, Agrarmarkt 5/2001 S. 35-38

Weltzien, C. (2001): Einsatz elektronischer Prozesssteuerung zur Teilflächen Bewirtschaftung im Forschungsverbundprojekt preagro.- 22. GIL-Jahrestagung

Weltzien, C., Persson, K. (2001): Decision Strategies for Variable Rate Fertilisation; 3<sup>rd</sup> ECPA, Montpellier, France, Vol. 2, S737 – 742

Weltzien, C. et al. (2002): Technikbetreuung und –vergleich.- In: Werner, A. Jarfe, A. [Hrsg.]: Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis; Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn:153-168; Darmstadt (KTBL) (KTBL-Sonderveröffentlichung; 038).

Weltzien, C. (2002): Experiences with precision agriculture in Germany, Teknik i Landbruget Conference, Aarhus, DK, Bilag: S. 49-50.

Weltzien, C. (2002): Genauigkeitsvergleich von GPS-Empfängern, Landtechnik 4/2002, S. 242

Persson, K., Weltzien, C. (2002) Variable Rate Fertilisation - Distribution Strategies, VDI-MEG Jahrestagung, Halle, Tagungsband

Persson, K., Weltzien, C. (2001): Precision of Commercial Positioning Systems for Agriculture; 3<sup>rd</sup> ECPA, France, Vol.1, S.79 – 84

Kloepfer, F., Kottenrodt, D., Weltzien, C. (2001): Implementation and Acceptance of Precision Agriculture by Farmers and Agricultural Contractors within the Research Project preagro; 3<sup>rd</sup> ECPA, Montpellier, France, Vol. 2, S. 527-532

Persson, K., Weltzien, C. (2001): Spatial resolution for variable rate fertilisation'; Workshop Protokoll

Schmittmann, O., Kromer, K.H., Weltzien, C. (2001): Yield Monitoring on Forage Harvester, Proceedings, PMA Prag 2001

#### Vorträge

Weltzien, C. (1999): Technik für teilflächenspezifische Aussaat im Projekt *pre agro*.-52. Sitzung des DLG-Ausschusses für Arbeitswirtschaft und Prozeßtechnik und 53. Sitzung des DLG-Ausschusses für Technik in der pflanzlichen Produktion, 05.-06.10.99 Potsdam/Golzow.

Weltzien, C. (2000): Praxiserfahrungen mit GPS bei der Aussaat.- KTBL-Fachtagung Sätechnik und Säverfahren, 15.-16.02.00, Braunschweig.

Weltzien, C. (2000): GPS/GIS – Erfahrungen und Visionen.- DLG-Ausschusssitzung Mechanisierung im feldversuchswesen, 13.03.00, DLG Prüfstelle für Landmaschinen, Groß-Umstadt

Weltzien, C. (2000): Verbundprojekt *pre agro* – Precision Agriculture in Forschung und Anwendung, FH-Köln, 12.12.00, Gastvortrag

Weltzien, C. (2001): Elektronische Prozesssteuerung in *pre agro*.- 22. GIL-Jahrestagung, 20.09.01, rostock.

Weltzien, C., Persson, K. (2001): Decision Strategies for Variable Rate Fertilisation.- Third European Conference on Precision Agriculture (ECPA), Montpellier, France, June 18-20, 2001.

Weltzien, C. (2002): Experiences with precision agriculture in Germany, Technik i Landbruget Conference, 21.-22.03.02, Aarhus, DK.

Weltzien, C., Persson, K. (2002) Variable Rate Fertilisation - Distribution Strategies, VDI-MEG Jahrestagung, 10.-11.10.02, Halle