

## 4.3 Technikbetreuung und –vergleich (TP I-1)

Teilprojektleiterin und – bearbeiterin: Dipl. Ing. (FH) C. Weltzien

Koautoren: Dr. Alexander v. Chappuis; Prof. Dr.-Ing. Karl-Hans Kromer, Krister Persson, Dr.-Ing. Boris Resnik; Oliver Schmittmann

### 4.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

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. Auf den Projektbetrieben wurden Probleme mit der precision agriculture-Technik beim Praxiseinsatz in Zusammenarbeit mit Anwendern und Industrie bearbeitet. Die **Anforderungsliste** an die precision agriculture-Technik wurde durch die laufenden Erfahrungen ergänzt. Diese Zusammenstellung dient als Grundlage für den Dialog mit der Industrie.

Im Rahmen der Technikbetreuung wurde speziell der Einsatz des **Einzelkornsägerätes** zur Maissaat betreut. Hier kam es trotz intensiver Vorarbeit und Probeläufen mit den beteiligten Herstellern nicht zu der gewünschten Variation des Pflanzenabstandes. 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 Ertragskarte ist in Arbeit, kann aber noch nicht präsentiert werden.

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. Zum **Technikvergleich** wurde im Jahr 2001 die Prüfung der Arbeitsqualität eines **Ausleger-Pneumatik-Streuers** erfolgreich abgeschlossen. Hierbei zeigen sich ebenfalls Probleme in der Arbeitsqualität. Die Prüfungen von Zentrifugalstreuern wurden weiter verfolgt.

Ein Workshop zum Thema "räumliche Auflösung der teilflächenspezifischen Düngung" wurde in Zusammenarbeit mit dem DIAS durchgeführt. Nach den Expertenmeinungen liegt die benötigte Auflösung, um die wichtigsten Einflussparameter der N-Düngung anzusprechen, im Minimum bei 10 m x 10 m. Es zeigt sich, dass im Bereich Düngerstreuer die Reduzierung der Arbeitsbreite bzw. die Regelung von Teilbreiten notwendig werden, um kleinräumige Variationen anzusprechen. Weiterentwicklungen sind hierzu unbedingt notwendig.

Zur Prüfung von **DGPS-Empfängern** auf Zuverlässigkeit, Wiederholgenauigkeit und Positionierungsqualität wurden dynamische Messungen über einen Zeitraum von 24 h durchgeführt. Es zeigt sich, dass der Einfluss der Satellitenkonstellation (HDOP-Wert) auf die Positionierungsgenauigkeit durch das Korrektursignal (DGPS) verringert wird. Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus Unterschiede zwischen den Empfängern verschiedener Qualitätsklassen. Es wird der Einsatz von DGPS Empfängern höherer Qualität empfohlen, besonders für den Einsatz von Lenkhilfen.

### Summary

Main tasks of the sub-project I-1 are: Technical support at the farm sites as well as evaluation of functionality and working quality focused on fertiliser spreaders and GPS receivers. Before and during the application technical support is offered to the users and experiences are summoned up and made available to manufacturers and users the same. The co-operation

with the DIAS / RCB concerning the evaluation of fertiliser spreaders and GPS receivers was very fertile. Differences in Quality of positioning concerning D/GPS receivers as well as necessary developments concerning fertiliser spreaders have been determined. The harmonisation of Soft- and Hardware needs to be pushed further across the line between stable/yard and outdoor operation. New applications of work process optimisations arise with the technical solutions for the documentation of process data.

### 4.3.2 Bezug zum Verbundprojekt

Das TP I-1 (Technikbetreuung) ist Schnittstelle für Betriebe, Hersteller und Projektmitarbeiter. Es hilft, den reibungsarmen Ablauf der Praxiserprobung zu gewährleisten. Der Technikvergleich kann als Dienstleistung für die agronomisch orientierten Teilprojekte gesehen werden. So können die Resultate der pflanzenbaulichen Versuche entsprechend den realen Möglichkeiten und Toleranzen der PA-Technik geplant und bewertet werden.

### 4.3.3 Einleitung und Problemstellung

Die Hauptaufgaben des Teilprojektes I-1 sind die Technikbetreuung auf den Betrieben sowie die Technikbewertung hinsichtlich Abstimmung der Systeme, Funktionalität und Arbeitsqualität mit den Schwerpunkten Düngestreuer und GPS-Empfänger.

Bei der **Betreuung der Betriebe** steht die Unterstützung bei Problemen mit PA-Technik im Praxiseinsatz im Vordergrund. Im letzten Jahr war besonders beim Einsatz von Forschungseinheiten bzw. Prototypen eine Betreuung notwendig. Gemeinsam mit Anwendern und Herstellern werden Problemlösungen gesucht und durch das TP I-1 dokumentiert.

Im Bereich der **Technikbewertung** wurden in Kooperation mit dem Danish Institute for Agricultural Science (DIAS) im Research Centre Bygholm, DK (RCB) die Schwerpunkte Düngestreuer und GPS-Prüfung weiter vertieft. 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 in relativ kurzer Zeit. Für die Prüfung der GPS-Empfänger wurden Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Geräte als grundlegende Kriterien festgelegt und eine Prüfung unter praxisnahen Bedingungen entwickelt. Zur statistischen Auswertung ergab sich eine weitere Kooperation mit der Universität Rostock.

### 4.3.4 Forderungen an die PA-Technik

Technische Probleme gehören zu den Hürden, die es bei der Einführung von PA zu bewältigen gilt. Gerade weil PA eine elektronikgestützte Maßnahmengestaltung ist, sind die Anwender skeptisch. Unterschiedliche Produkte und Meinungen wirken verunsichernd. Auch die Mehrzahl der Projektbetriebe geben an, precision agriculture heute ohne externe Unterstützung noch nicht umsetzen zu können. Das Teilprojekt Technikbetreuung erstellte eine Dokumentation der aufgetretenen Probleme mit der precision agriculture-Technik im *pre agro*-Praxiseinsatz und leitete daraus folgende Forderungen an die precision agriculture-Technik nach (Weiter-) Entwicklungen ab:

#### Hardware

- Kompromisslose Durchsetzung der **Kompatibilität** für alle Komponenten. Die Umsetzung der ISO Norm 11783 als Fortführung des LBS, DIN Norm 9684 muss schnellstmöglich den Ankündigungen folgen.
- Die **Zuverlässigkeit** der Elektronikkomponenten muss weiter verbessert werden.

- 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.
- Service und Erreichbarkeit der Herstellerfirmen in der Saison muss unbedingt gewährleistet sein.
- Bis heute ist die precision agriculture-Technik in der Regel eine Anpassung von herkömmlicher Technik an die neuen Bedingungen. Durch Entwicklungen speziell für teil-schlagspezifische Variation würden einige Probleme beim teilflächenspezifischen Einsatz behoben.

#### Software

- **Zuverlässigkeit** und **Vergleichbarkeit** der Daten unterschiedlicher Hersteller muss gewährleistet werden. Entwickeln einheitlicher **Filter** und **Interpolationsmethoden**.
- Eine Einigung auf einheitliche **Datenformate**, Rastergrößen etc. muss für den Einsatz in der Landwirtschaft unbedingt angestrebt 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 Software-Produkten z.B. Management/Logistik/Betriebswirtschaft, wird vermisst. Da die *pre agro*-Software-Module in bestehende GIS-Produkte integriert werden, müssen auch hier Kompatibilitätsprobleme befürchtet werden.

**GIS Programme** sind komplexe Werkzeuge, die Anwendung ist vielschichtig, auftretende Fehler und Probleme sind für den Laien oft nicht nachvollziehbar oder treten aufgrund von Unwissenheit auf. Die Hauptfehlerquellen im Zusammenhang mit GIS-Software könnten durch oben genannte Weiterentwicklungen weitestgehend eliminiert werden:

- Fehler aufgrund von Konvertierungen der Georeferenzdaten vom 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 führten zu Versatz um bis zu 30 m.

### 4.3.5 Einsatz Einzelkornsäugerät Mais

Das Einzelkornsäugerät Multikorn Synchrodrive der Firma Kleine mit LBS-Anbindung an Bedienterminal ACT von agrocom wurde vom Lohnunternehmen Nagel auf dem Schlag Doorn in Raesfeld eingesetzt. Die Aussaat erfolgte nach Applikationskarte. Eine direkte Kontrolle der Kornablage war aufgrund der Bodenverhältnisse nicht möglich (die Körner wurden nicht wiedergefunden). Im Vorfeld waren bereits Probeläufe und Gespräche mit den beteiligten Herstellern gelaufen.

#### 4.3.5.1 Ergebnisse

Die Anzeige auf dem Bordterminal zeigte eine Variation der Pflanzenabstände entsprechend der Applikationskarte zwischen 7 und 14 Pflanzen/m<sup>2</sup> an. Nach der Ernte wurden die Pflanzen an 21 Probenahmepunkten gezählt und zusätzlich an 33 Kontrollpunkten (Abb. 4.3-1). 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 Aussaat-Technik hat wiederum versagt.

## Mais Aussaat Applikationskarte Doorn 01

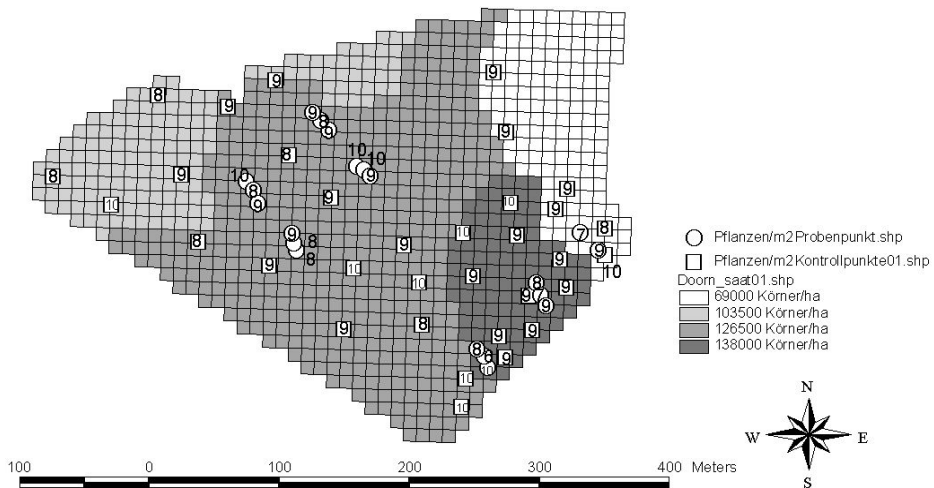


Abb. 4.3-1: Aussaatkarte Mais mit gezählten Pflanzen/m<sup>2</sup> an Probenahmepunkten und Kontrollpunkten, Schlag Doorn 2001

Fig. 4.3-1: Application Map for Monograin Seed of Corn, Counts of Plants/m<sup>2</sup> at Sampling Points and Control Positions, Field Doorn 2001

### 4.3.5.2 Schlussfolgerungen

Es zeigt sich, wie schwer die Entwicklungen im Bereich precision agriculture besonders im Zusammenspiel mehrerer Hersteller vorankommen. Im Bereich precision agriculture 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 precision agriculture-Kreislauf geschlossen ist, wird sich das Gesamtsystem durchsetzen können.

### 4.3.6 Einsatz des Messkrümmers der Universität Bonn zur Ertragsmessung auf dem Feldhäcksler zur Futterernte bei 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 *pre agro*-Flächen mit dem Lohnunternehmen Nagel die Erträge bei der Grasernte und im Mais (Silage) mit dem Messkrümmer der Universität Bonn teilflächenspezifisch erfasst werden. Dass es im Gegensatz zu Ertragskartierung in Mähdreschern heute noch keine kommerziellen Ertragskartierungssysteme im Feldhäcksler

gibt, liegt unter anderem an den erschwerten Bedingungen: hohe Durchflussgeschwindigkeiten bis zu 28 m/s und Durchsatz bis zu 40 kg/s sowie inhomogener Feuchtegehalt und Dichte.

#### 4.3.6.1 Material und Methoden zur Ertragsmessung Feldhäcksler

Eingesetzt wurde der Feldhäcksler Claas Jaguar 690<sub>SL</sub> von Lohnunternehmen Nagel mit dem Messkrümmer der Universität Bonn in Raesfeld. Es wurden 3 verschiedene Ertragsmesssysteme installiert (Abb. 4.3-2). Messfrequenz war 100 Hz. Als Referenz für den wahren Durchsatz wurde absätzig das Gewicht der Transportkarren für jede Wagenladung auf einer Fuhrwerkswaage ( $\pm 20$  kg) ermittelt. Beim Entladen wurden Materialproben gezogen, um den Feuchtegehalt mittels Ofentrocknung zu bestimmen. Mit diesen Daten wird der Durchsatz berechnet.

- Ernte Gras, 13.06.01, Schläge "Esch Rechts" (Welsches Weidelgras) und "Esch Mitte" (Holl. Saatmischung), 38 - 50 % m.c.w.b.
- Ernte Silomais, 9.10.01, Schlag "Doorn1", Sorte Banguy

##### Messung der Auflagehöhe unter den Presswalzen: 1 – Abb. 4.3-2

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

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. 4.3-2

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

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-Laser-Strahles. 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.

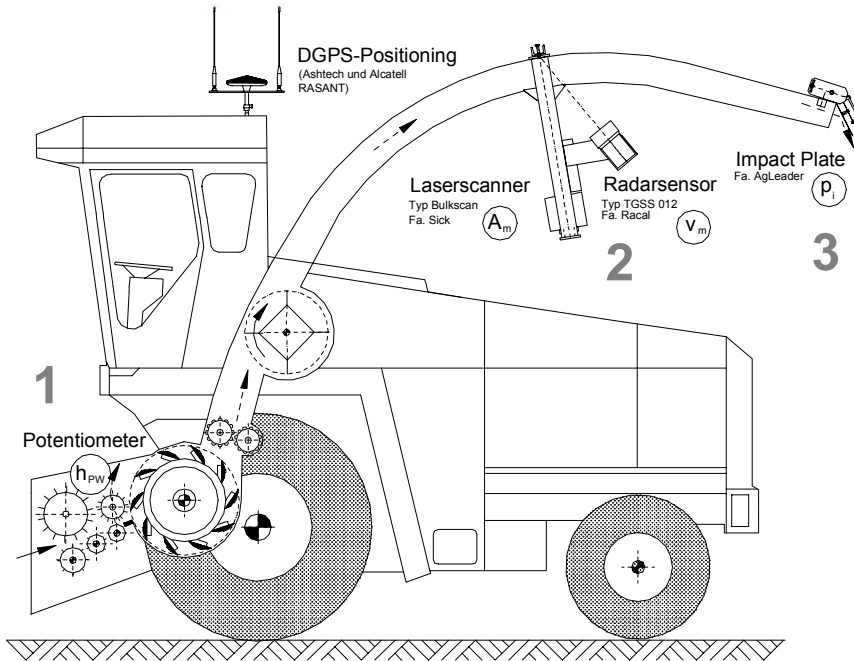


Abb. 4.3-2: Anbau des Messkrümmers mit den drei Ertragsmesssystemen am Feldhäckslers, Schmittmann / Kromer, Bonn

Fig. 4.3-2: Setup of the three Yield-measuring Systems on the Self-propelled Forage Harvester, Schmittmann / Kromer, Bonn

**Messung des Impulses durch den Massenstrom auf eine Prallplatte: 3** – Abb. 4.3-2

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

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.

#### 4.3.6.2 Ergebnisse Ertragsmessung Feldhäckslers

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 bis 57,6 t (Feuchtegewicht) Gras pro Stunde. Die Systeme wurden stark von der Dichte des Gutes beeinflusst. Der Gutstrom durch den Feldhäckslers 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 *pre agro* steht als Endprodukt die Ertragskarte im Vordergrund. Durch einen Ausfall des GPS-Empfängers während des Probelaufes im Gras konnte hier leider 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 Universität Bonn.

#### 4.3.6.3 Schlussfolgerungen aus der Ertragsmessung Feldhäcksler

Der Einsatz der Forschungseinheit mit drei Ertragsmesssystemen für Feldhäcksler zeigt, dass diese Systeme noch nicht ohne zusätzlichen Aufwand in der Praxis einsetzbar sind. Die Ergebnisse sind aber sehr vielversprechend. Nun ist es Aufgabe der Hersteller, diese Arbeiten aufzunehmen und marktfähige Lösungen zu entwickeln. Die erzielten Erfolge lassen hoffen, dass diese Lücke im precision agriculture-Kreislauf bald geschlossen wird.

#### 4.3.7 Technikvergleich Düngerstreuer

Während in den Vorjahren das Hauptaugenmerk auf den Zweischeiben-Zentrifugalstreuern lag, wurde im letzten Jahr der Vergleich zwischen Zentrifugalstreuer und Auslegerstreuer angestrebt. Der Selbstfahrer Pneumatik-Auslegerstreuer Typ Terra-Gator wird im *pre agro*-Projekt hauptsächlich zum Ausbringen der Grundnährstoffe eingesetzt. Die Arbeitsqualität wurde in einem aufwendigen Versuch beim Partnerbetrieb TAS Raguhn geprüft. Sämtliche Düngerstreuerprüfungen wurden in enger Zusammenarbeit mit Herrn K. Persson vom DIAS, RCB, DK durchgeführt.

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

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen der Zentrifugalstreuerprüfungen zu gewährleisten, 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 Eigenschaften:

Arbeitsbreite:	21,23 m (70 ft.)
Auslegerbreite:	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 um jede Austrittsöffnung gebunden, so 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 4.000 – 5.000 U/min eingestellt.
- Die Maschine wird gestartet und ca. 100 kg werden ausgebracht.
- Jeder Beutel wird gewogen und der Variationskoeffizient des Ergebnisses 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 aufgestellt, 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, Vorfahrtsgeschwindigkeit ca. 8 km/h.

#### 4.3.7.1 Ergebnisse der Prüfung des Pneumatik-Auslegerstreuers

An den Variationskoeffizienten wird deutlich, dass die Verteilung des Düngers pro Austrittsöffnung durch die vorgewählte Ausbringmenge beeinflusst wird (Tab. 4.3-1 und 4.3-2). Das Ergebnis des Versuches mit 222 kg/ha Ausbringmenge wurde mit einem AgChem-Vertreter diskutiert. Er empfahl keine Optimierung der Einstellung, da dies nicht zum Erfolg führen würde.

Tab. 4.3-1: Variationskoeffizient der Ausbringmenge pro Austrittsöffnung, Ergebnisse des stationären Beuteltests

Tab. 4.3-1: Coefficient of Variation of the Amount of Fertiliser brought out at each Nozzle. Results of the stationary Bagtest.

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

Tab. 4.3-2: Variationskoeffizient der Querverteilung, Ergebnisse der dynamischen Versuche

Tab. 4.3-2: Coefficient of Variation of the Lateral Distribution. Results of the Dynamic Test

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 der Variationskoeffizient (VK) für die zulässigen Grenze bei  $VK = 15\%$ . Damit würde der geprüfte Auslegerstreuer keine Anerkennung bekommen. Die Ergebnisse sowohl vom Querverteilungstest (Tab. 4.3-2) als auch vom Beuteltest (Menge pro Austrittsöffnung, Tab. 4.3-1) 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 Vorfahrtsgeschwindigkeit. Die Gründe für die Abweichung der Arbeitsqualität entsprechend der Ausbringmenge wurden nicht gefunden. Im vorliegenden Versuch wurde nicht auf die Längsverteilung oder auf die Zeitverzögerung bei Mengenänderungen eingegangen. Dies muss in weiteren Versuchen nachgeholt werden.

#### 4.3.7.2 Vergleich verschiedener Düngerapplikationstechniken

In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die Einzelstreubilder der Querverteilungsversuche des Auslegerstreuers 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 18 m) ist nicht möglich. Die durchschnittliche relative Deviation um den Sollwert (gewünschte Verteilung) für alle drei Ausbringmengen beträgt 17 %.

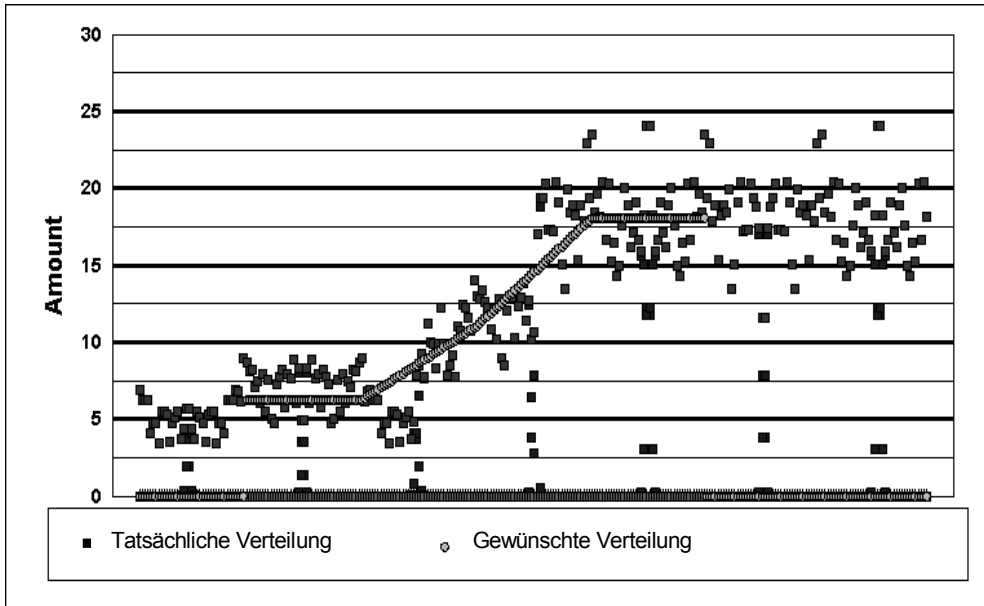


Abb. 4.3-3: Querverteilung Auslegerstreuer, 18 m Arbeitsbreite, durchschnittliche relative Deviation 17%

Fig. 4.3-3: Lateral Distribution of the Full-width Spreader, 18m working width,  $\emptyset$  relative Deviation 17%

Tab. 4.3-3: Vergleich durchschnittliche relative Deviation um den Sollwert, bei Ausleger- und Zentrifugalstreuer, für 3 Ausbringmengen in benachbarten Fahrspuren

Tab.4.3-3: Comparison of  $\emptyset$  relative Deviation against set value, Full-width Spreader vs. Centrifugal Spreader, for three working width in adjacent tramlines.

	Durchschnittliche relative Deviation um den Sollwert
Pneumatik-Auslegerstreuer 18 m Arbeitsbreite	<b>17 %</b>
Zentrifugalstreuer 24 m Arbeitsbreite	<b>9.4 % (7 % - 18 % je nach Einstellung und Streuer)</b>

Anders als beim Auslegerstreuer lässt sich mit einem gut eingestellten Zentrifugalstreuer ein stetiger Übergang von einer Menge zur anderen quer zur Fahrtrichtung bewerkstelligen (vgl. Zwischenbericht 2000 und 2001), dies schlägt sich in der geringeren durchschnittlichen relativen Deviation um den Sollwert nieder (Tab. 4.3-3). Aber auch hier lassen sich keine kleinräumigen Variationen innerhalb der Arbeitsbreite ansprechen. Beim Zentrifugalstreuer kommt darüber hinaus erschwerend hinzu, dass das Streubild auch in Fahrtrichtung eine große Ausdehnung zeigt (Abb. 4.3-4). Im Gegensatz dazu zeigt das Streubild eines Auslegerstreuers nur geringe Ausdehnung in Längsrichtung.

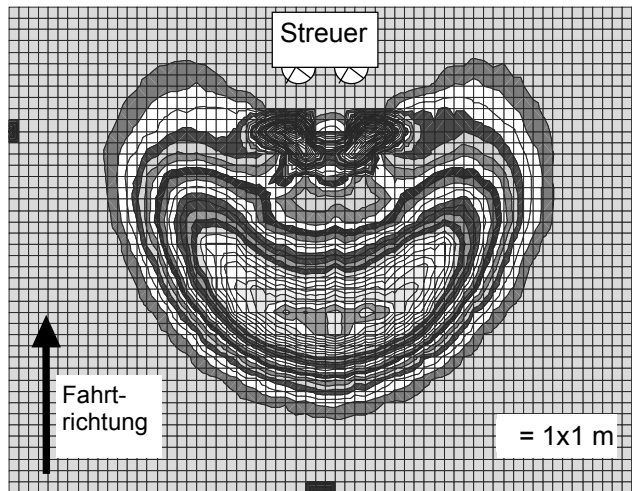


Abb. 4.3-4: 3-D-Streubild eines Zweiseiben-Zentrifugalstreuers, Abmessungen ca. 45 x 30 m bei 24 m Arbeitsbreite

Fig. 4.3-4: -3-D-Spreadpattern of a two disc Centrifugal Spreader, dimensions ca. 45m x 30m with 24m Working Width.

Moderne Zentrifugalstreuer erreichen Arbeitsbreiten von 36 m, teilweise sogar bis 48 m. Die großen Breiten sind für kleinräumige Variationen problematisch, die Verteilgenauigkeit leidet darunter. Anhand eines Beispielschlages des RCB wurde von Herrn K. Persson simuliert, wie gut ein Zentrifugalstreuer je nach Arbeitsbreite die Düngermenge entsprechend der Applikationskarte auszubringen vermag. Dazu wurden durch den Schlag Transekten gezogen, an denen der Düngerstreuer virtuell entlang geführt wurde. Mithilfe der Versuchsergebnisse aus den Querverteilungsmessungen konnte der Variationskoeffizient entsprechend der Applikationskarte für die drei Arbeitsbreiten 12 m, 24 m und 36 m bestimmt werden.

Tab. 4.3-4: Variationskoeffizient der Ausbringungsmenge eines Zentrifugalstreuers, berechnet für verschiedene Arbeitsbreiten entlang von 4 Transekten durch einen Beispielschlag

Tab. 4.3-4: Coefficient of Variation of the Application by a centrifugal spreader, calculated for different Working Width along four transects across an example field.

Arbeitsbreite	Variationskoeffizient [%]				
	Durchschnitt	Transekte A	Transekte B	Transekte C	Transekte D
12 m	5,3	8,4	5,4	3,4	4,0
24 m	9,4	7,2	4,7	11,1	14,6
36 m	10,7	8,9	10,3	11,4	12,2

#### 4.3.7.3 Schlussfolgerungen aus dem Technikvergleich Düngerstreuer

Die Ergebnisse zeigen, dass es im Bereich der variablen Düngerapplikation einen Interessenkonflikt gibt. Der Entwicklung zu immer größeren Arbeitsbreiten steht die kleinräumige Auflösung für precision agriculture entgegen. Gerade um die für die Stickstoffdüngung wichtigen Einflussparameter anzusprechen, ist in vielen Fällen eine Auflösung von 10 m x 10 m notwendig. Um beides zu erreichen, müssen Düngerstreuer 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 Steuerungsmechanismen noch weiter ansteigen wird. Es bleibt somit fraglich, ob sich diese Technik in der Praxis trotz ihrer Vorzüge durchsetzen wird.

Für die Praxis ist die Bedienung und Funktionalität der Maschinen von vorrangigem Interesse. Die Weiterentwicklungen müssen daher unbedingt einfache (semi-) automatisierte Kalibriervorgänge und Einstellungsfindung sowie zusätzliche Kontrollmöglichkeiten, wie z. B. Kontrolle der tatsächlichen Ausbringmenge, beinhalten.

### 4.3.8 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. In Zusammenarbeit mit dem Danish Institute for Agricultural Science (DIAS) wurden um das Research Centre Bygholm (RCB) Versuche zur Bestimmung der Zuverlässigkeit, Positionsgenauigkeit und Wiederholungsgenauigkeit von DGPS Empfängern unternommen. Die Auswertung wurde durch Herrn Resnik von der Universität Rostock unterstützt.

#### 4.3.8.1 Material und Methoden Technikvergleich GPS-Empfänger

Zuverlässigkeit Es wurde ein 24 h Dauertest im Feldeinsatz durchgeführt. Dazu wurde ein Fahrspursystem in einem 3 ha Feld abgefahren. Die Geschwindigkeit im Feld war 10 km/h. Alle Positionen sind im WGS84-Format gespeichert und später in metrische Werte transformiert worden. Das Gebiet der Versuchsdurchführung liegt bei 9,81 E and 55,80 N. (vgl. Zwischenbericht 2001) Die Einstellung der Empfänger wurden alle auf: Elev mask 10°, PDOP mask 6, Aufzeichnungsrate 1 sec vorgenommen.

Im Versuch wurden 7 DGPS Empfänger geprüft. Die Referenzpositionen wurden mit Hilfe des cm-genauen 4000ssi kinematischen GPS-Systems (post processing) von Trimble gemessen. Antennenanordnung siehe Abb. 4.3-5.

$$\text{MPF} = \sqrt{\text{StdAbwN}^2 + \text{StdAbwE}^2}$$

Die Berechnung des mittleren Punktfehlers (MPF) erfolgt über die getrennte Berechnung der Standardabweichung für Nord- (Hochwert) und Ostrichtung (Rechtswert). Der mittlere Punktfehler ist nur eine von vielen 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 der Wert, Root Mean Square' (RMS), der sich nur auf 50 % der Punkte bezieht. Daher sind die dort angegebenen Abweichungen i.d.R. kleiner.

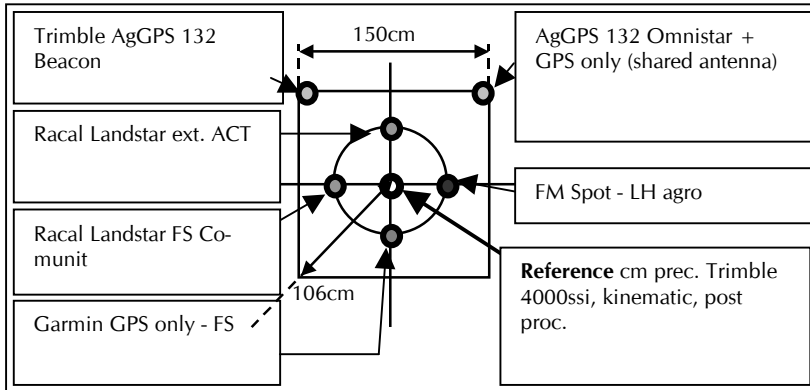


Abb. 4.3-5: Antennen-Anordnung, Draufsicht

Fig. 4.3-5: : DGPS comparison Antenna set up, birds eye view

### 4.3.8.2 Ergebnisse Technikvergleich GPS-Empfänger

Die Versuchsergebnisse aus der 24 h 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-Empfänger als Referenz hat zur Folge, dass bei einem Datenausfall aufgrund von ungünstigen Bedingungen beim Referenzempfänger die Daten der DGPS-Empfänger mit ebenfalls ungenaueren Positionsangaben nicht ausgewertet werden können.

Tab. 4.3-5: Vergleich der Positionierungsgenauigkeit von 6 Empfängern, Summe über 24 h Feldeinsatz

Tab. 4.3-5: Comparison: Accuracy of Positioning, 6 Receivers, Sum of 24h Data Logging During Field Operation.

GPS Empfänger	Anzahl der Messungen	Nord [m]		Ost [m]		mittlerer Punktfehler
		Std.-Abw.	Mittelwert	Std.-Abw.	Mittelwert	
Trimble AgGPS 132 12 Kanal Empfänger <b>ohne</b> Korrektursignal	65465	2.1	0.4	2.2	0.6	3.0
Trimble AgGPS 132 – Küstenfunk 12 Kanal Empfänger <b>mit</b> Korrektursignal	7619	0.9	0.1	1.1	0.8	1.4
Trimble AgGPS 132 - Küstenfunk - Korrektursignal ausgefallen 12 Kanal Empfänger <b>ohne</b> Korrektursignal	57438	2.0	0.6	1.9	1.0	2.7
Trimble AgGPS 132 - Satellitenkorrektursignal OM-NISTAR 12 Kanal Empfänger <b>mit</b> Satellitenkorrektursignal	65085	1.3	-0.1	1.3	0.2	1.9
GARMIN-GPS Mouse FIELDSTAR Lösung <b>ohne</b> Korrektursignal	61813	2.3	1.0	2.2	0.6	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
RACAL Landstar in FIELDSTAR Comunit 8 Kanal Empfänger <b>mit</b> Satellitenkorrektursignal	60266	1.8	-0.3	1.7	-0.2	2.5

Aus den Daten lassen sich die zeitlichen Verläufe (Abb. 4.3-6) und die unterschiedlichen Einflüsse auf die einzelnen Empfänger (Tab. 4.3-5) nachvollziehen. Eine Fragestellung 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: 3 m ohne Korrektursignal und 1,4 m bzw. 1,9 m mit Korrektursignal). Auch die Qualität des GPS-Empfängers macht einen, wenn auch geringeren, Unterschied aus. Bei diesem Versuch ist aufgrund von ungedämpften Maschinenschwingungen das Küstenfunksignal die meiste Zeit ausgefallen. Es bestätigt sich, dass die satellitengestützten Korrekturdienste die zuverlässigeren DGPS-Systeme bilden.

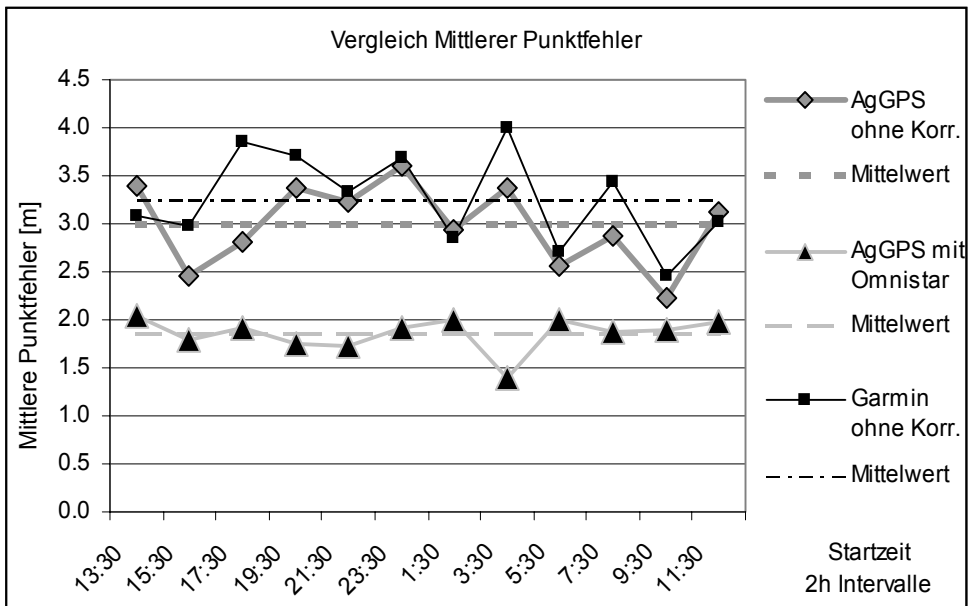


Abb. 4.3-6: Vergleich Mittlere Punktfehler für 3 Empfänger über 24h

Fig. 4.3-6: : Comparison Distance Root Mean Square ( $d_{RMS}$ ) of 3 receivers for 24h Data Logging.

#### 4.3.8.3 Schlussfolgerungen Technikvergleich GPS Empfänger

Es wird empfohlen nach wie vor mit **Differential-GPS**-Systemen zu arbeiten; gerade für Feldvermessung oder z. B. Lenkhilfen. Für die Mehrfachnutzung der Systeme muss immer die höchste Genauigkeitsanforderung ausschlaggebend sein.

#### 4.3.9 Aktuelle Entwicklungen in Forschung und Markt

Immer mehr Hersteller bieten ihre High-End-Maschinen mit precision agriculture-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 precision agriculture-Technik hat sich dennoch abgeschwächt. Schwerpunkte in der Elektronikentwicklung werden zunehmend in Richtung Logistik, Dokumentation und Tele-service gesetzt.

In der weiteren Entwicklung 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 precision agriculture-Technik zu verteilen. Die **Dokumentation** von Prozessdaten kann darüber hinaus auch als Qualitätsnachweis genutzt werden. Die notwendige Weiterentwicklung technischer Voraussetzungen wird in anderen Forschungsprojekten bereits vorangetrieben und soll in Zukunft auch in *pre agro* eine größere Bedeutung bekommen.

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 Elektronik-Komponenten auch von unterschiedlichen Herstellern, vor allem aber die Kompatibilität vom Schlepper zur Geräte-Elektronik, sind absolute Grundvoraussetzung für eine breite Einführung von precision agriculture. Wichtig ist, dass die ISO-Norm zügig umgesetzt wird, damit sich die allgemeine Verunsicherung gegenüber elektronikgestützten Managementsystemen in der Landwirtschaft in Akzeptanz wendet.

#### 4.3.10 Diskussion

Nach der Einschätzung des TP I-1 sind Probleme mit der precision agriculture-Technik ein Hindernis bei der Einführung von precision agriculture. Mangelnde Zuverlässigkeit sowie Verunsicherung durch die Vielfalt der Angebote, aber auch ein fehlender Nachweis über die agronomischen Erfolge schrecken potentielle Käufer ab. Die Mehrzahl der Projektbetriebe geben an, dass sie sich im Moment ohne externe Unterstützung nicht in der Lage sehen, precision agriculture umzusetzen. Ziel muss es daher sein, Klarheit zu schaffen und das Prinzip precision agriculture zu vermitteln.

Die PA-Technik ist, soweit vorhanden, funktionstüchtig – aber es gibt noch deutliche Lücken (z. B. fehlen Ertragsmesssysteme für Häckselgut und Sonderkulturen) und erhebliche Einschränkungen bei der Zuverlässigkeit und Kompatibilität der Systeme. Es ist notwendig, die Entwicklung weiter voranzutreiben. Die heute eingesetzte PA-Technik ist i. d. R. für eine einheitliche Applikation konstruiert. Daher beeinträchtigt die Variation der Ausbringmengen oft die Arbeitsqualität. Die Präzision der Applikation, besonders des Düngers, 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 besser zu kontrollieren. Die Weiterentwicklung der Sensorik für den Praxiseinsatz sowie unabhängige Funktionstests sind dafür notwendig.

Die Funktionssicherheit der Elektronik-Komponenten ist noch nicht voll zufriedenstellend. Skepsis gegenüber der precision agriculture-Technik basiert u. a. auf Verunsicherung auf Grund mangelnder Funktionssicherheit. Nicht selten hängt der Erfolg einer Maßnahme von der Motivation des einzelnen Mitarbeiters ab. Unzuverlässige Systeme demotivieren jeden Mitarbeiter! Die Hersteller müssen weiter an der Systemsicherheit arbeiten, damit das Vertrauen in die precision agriculture-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 enorme Datenmenge muss überschaubar und zu verwalten sein. Sowohl die Bedienung als

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

#### **4.3.11 Ausblick**

Die Technikbetreuung wird auch weiterhin als wichtigster Arbeitsschwerpunkt des TP I-1 gesehen. Dazu wird der direkte Kontakt mit Betrieben und Herstellern weitergeführt bzw. intensiviert. Auch der Austausch mit Kollegen in Prüfung und Forschung wird gepflegt. Besonders für die neu zum Projekt kommenden Validierungsbetriebe wird zusätzlicher Betreuungsaufwand notwendig.

Zur Klassifizierung von GPS-Empfängern sind weitere Versuche in Kooperation mit DIAS und eine DLG-Prüfung geplant.

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

#### **4.3.12 Danksagung**

Die Autorin dankt für die gute Zusammenarbeit: Oliver Schmittmann, Karl-Hans Kromer Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Landtechnik; Boris Resnik, Institut für Geodäsie und Geoinformatik, Universität Rostock; Krister Persson, DIAS, RCB, Horsens, DK, sowie der Firma Trimble für die Bereitstellung des Referenz-Empfängers und die technische Unterstützung.

#### **4.3.13 Literatur**

- Persson, K. (1998): Physical Qualities of Fertilisers and Variable Rate Spreading-Interactions'; Proceedings N°424, The international Fertiliser Society, York, UK.
- 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'; 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
- Herbst, R.; Lamp J.; Reimer G. (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. (2001): Spatial resolution for variable rate fertilisation'; Workshop Protokoll

