

## FORSCHUNGSVERBUND AGRARÖKOSYTEME MÜNCHEN

### Abschlußbericht Hauptphase 1 und 2 (1993-1997)

Teilprojekt: A7	Kurztitel: Teilschlagtechnik
Laufzeit :	1993-1997
Thema:	Teilschlagbezogene Produktionstechnik
Institution:	TUM, Institut für Landtechnik
Antragsteller:	Prof. Dr. H. Auernhammer

#### Zusammenfassung:

Im Teilprojekt A7 "teilschlagbezogene Produktionstechnik" wurde zwischen 1993 und 1997 Technik für lokale Ertragsermittlung für die Futter- und Hackfruchernte entwickelt und erprobt, die Möglichkeiten der großflächigen Messung des Bodenwiderstandes untersucht, erste Umsetzungen der teilschlagvariierter Stickstoffdüngung vorgenommen und die Gülleausbringung in wachsende Maisbestände erprobt. Nach umfangreichen Vorversuchen erfolgten alle Hauptuntersuchungen auf den Betriebsflächen der Versuchsstation Kloostergut Scheyern.

Die Untersuchungen zeigen, daß heute für beinahe alle Feldfrüchte Meßsysteme für die lokale Ertragsermittlung verfügbar sind. Die Markteinführung dürfte innerhalb der nächsten fünf Jahre erfolgen.

Analysen mehrjähriger Ertragsmessungen haben gezeigt, daß am Standort Scheyern (tertiäres Hügelland) die untersuchten Mähdruschfrüchte (Getreide und Körnermais) und der Silomais Ertragsverteilungen mit sehr stabilen Ertragsmustern aufweisen.

Die von Ertrags- und Bodeninformationen abgeleitete lokale Differenzierung der Stickstoffdüngung auf zwei peripheren Schlägen hat trotz einer Nährstoffdifferenz von 40 kg/ha N zwischen Hoch- und Niedrigertragszonen (160 kg/ha N Hohertrag, 120 kg/ha N Niedrigertrag) in den Jahren 1996 und 1997 nicht zu einer Vergrößerung der Ertragsunterschiede zwischen den verschiedenen Zonen geführt.

Für die flächenhafte Aufnahme des Bodenwiderstandes in unterschiedlichen Tiefen sind weitere Entwicklungsarbeiten sowohl an den Sensoren (Bodenwiderstand und Bodenfeuchte) als auch am Aufbau des Gerätes notwendig um die enormen Beanspruchungen und Belastungen aufnehmen zu können.

Mittels eines leichten Trägerfahrzeuges gelang es die technischen Probleme bei der Gülleausbringung in wachsende Maisbestände (Höhe 0,6-1,0 m) sehr gut zu lösen.

## 1. Einleitung

Technik für eine umweltfreundliche Pflanzenproduktion muß in der Lage sein, die Aufwandmengen von Pflanzennährstoffen (Düngemitteln) dem spezifischen Bedarf anzupassen und den Pestizideinsatz weitestgehend zu reduzieren. Möglich ist dies nur durch eine lokale Erfassung der Ertrags-, Nährstoff- und Befallsituation und durch teilschlagspezifische Behandlungen. In einem entsprechenden Regelkreis bildet somit die teilschlagbezogene Ertragsermittlung für Getreide, Silomais, Feldfutter und Kartoffeln die Ausgangsbasis. Auf diese bezogen müssen dann während der Vegetation die unterschiedlichen Zonen erfaßt und die entsprechenden Maßnahmen vorgenommen werden. Sie umfassen die Düngung und den Pestizideinsatz.

Das Vorhaben hat schwerpunktmäßig drei Hypothesen untersucht und die dazugehörigen Fragestellungen bearbeitet:

*1. Eine Minimierung der Umweltbelastung durch die Pflanzenproduktion ist nur durch die Berücksichtigung der natürlichen Variabilitäten der Felder zu erreichen. Die Technik muß deshalb auf kleinräumige Erfassung und Behandlung ausgelegt werden. Dazu bildet die Ortung der Fahrzeuge und Maschinen im Feld die Basis und den Bezug aller pflanzenbaulichen Maßnahmen.*

Entsprechend wurde auf der Versuchsstation ein differentielles Satellitenortungssystem mit einer Feststation, der notwendigen Telemetrie für die Korrekturdaten und Mobilstationen auf Maschinen und für die Verwendung bei manuellen Messungen im Feld installiert, untersucht und betrieben.

*2. Die Ertragskraft als Ausgangsbasis für vorgegebene Ertragsniveaus muß während der Ernte kleinräumig erfaßt werden. Ertragsmeßsysteme in den Erntemaschinen und die Ortung ermöglichen die lokale Ertragsermittlung und Ertrags- bzw. Entzugskartierungen.*

Zusätzlich zur schon untersuchten Ertragsmeßtechnik für den Mähdrescher (Weiterbetreuung erfolgte) wurden kontinuierlich arbeitende Ertragsmeßsysteme für den selbstfahrenden Feldhäcksler, die Rundballenpresse und den Kartoffelroder entwickelt und untersucht. Die Daten mehrjähriger lokaler Ertragsmessungen bildeten die Basis für die Stabilitätsanalyse der Ertragsmuster.

*3. Die Applikation von Pflanzennährstoffen und Pestiziden ist nur dann zielwirksam und umweltschonend, wenn sie am geforderten Ort in der erforderlichen Menge erfolgt.*

Zur teilflächenspezifischen Applikation von Mineraldünger wurde ein mit dem "Landwirtschaftlichen BUS-System (LBS)" nach DIN 9684 ausgerüsteter Traktor mit einem entsprechenden Auslegerdüngerstreuer ausgestattet und das Bussystem und die elektronische Regelung auf ihr Verhalten hin untersucht.

Innerhalb des FAM wurden jedoch große Bedenken gegenüber der Umsetzung der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung vorgebracht. Es wurde befürchtet, daß die Analyse von Zeitreihen durch die neue Form der Pflanzenproduktion gestört bzw. unmöglich gemacht würde. Deshalb konnte die teilschlagspezifische Düngung erst ab 1996 und nur auf zwei peripheren Flächen der FAM Versuchsstation Scheyern erprobt und untersucht werden.

## 2. Aktueller Stand der Forschung

Das zentrale Ziel einer nachhaltigen Landbewirtschaftung und damit auch des integrierten Landbaues ist die Nahrungsmittelproduktion bei größtmöglicher Umweltschonung. Vielfältige Untersuchungen bestätigen, daß besonders die teilschlagspezifische Pflanzenproduktion hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten kann (BLACKMOORE et al. 1994, CASTELNUOVO 1994, FORNEY et GAULTRY 1996, SOTNIKOV et ROBERT 1996).

Die lokale Ertragsermittlung sowie flächenhafte Aufnahmen des Zustandes des Bodens (Boden-physik, Bodennährstoffe) und der Vegetation (Pflanzenstatus, Unkrautpopulation) bilden dabei die Grundlage für spezifische Behandlungen homogener Teilflächen und orientieren sich am spezifischen Bedarf.

Die bisherigen Arbeiten zur lokalen Ertragsermittlung beschäftigten sich fast ausschließlich mit dem Mähdescher zur Ermittlung der Kornerträge (SCHUELLER et al. 1987, VANSICHEN et BAERDEMAKER 1991, REITZ et KUTZBACH 1992).

Sowohl über die Ertragsermittlung im Feldhäcksler als auch in der Ballenpresse sind keine Untersuchungen mit Praxisbezug bekannt.

Erste Ansätze zur lokalen Ertragsermittlung sind für Zuckerrüben und Kartoffeln bekannt (CAMPBELL et al. 1994). Dabei wurden die Meßsysteme in mehrreihigen gezogenen Überladerodern auf gut siebfähigen Böden in ebenen Lagen untersucht. Diese Einsatzbedingungen entsprechen jedoch nicht den Verhältnissen im tertiären Hügelland.

Die heute diskutierten Strategien des teilschlagvariieren Pflanzenbaues bauen auf den Informationen der lokalen Ertragsermittlung und der Bodenbeprobung auf. Sie nehmen dadurch überwiegend auf historische Daten Bezug. Deshalb sind die Fragen nach den erforderlichen Zeitreihen, nach der Orts-Stabilität der Ertragsverteilung und Ertragsmuster und nach der notwendigen Datenauflösung für eine mögliche Umsetzung von großer Bedeutung (GOTWAY et al. 1996, LAMP et al. 1996, COLVIN et al. 1996).

Über mögliche Strategien zur Umsetzung der lokalen Informationen in die teilschlagvarierte Minereraldüngung liegen für den in Frage kommenden Nährstoff Stickstoff (auf der Versuchstation wegen sehr guter Versorgung keine P und K-Düngung) nur wenige lückenhafte Informationen vor (SCHNUG et al. 1994).

## 3. Hauptergebnisse

Innerhalb des Teilprojektes "Teilschlagtechnik" wurden in den vergangenen Jahren unterschiedliche Fragestellungen bearbeitet. Die Schwerpunkte lagen bei der Entwicklung und Erprobung der Technik für die lokale Ertragsermittlung für die Futter- und Hackfruchternte, der

Untersuchung von Möglichkeiten zur großflächigen Messung des Bodenwiderstandes, einer ersten Umsetzung der teilschlagvariieren Stickstoffdüngung und der Erprobung der Gülleeinbringung in wachsende Maisbestände. Den Untersuchungsumfang der einzelnen Untersuchungen gibt folgende Tabelle wieder:

*Tabelle: Untersuchungen im Teilprojekt 7 "Teilschlagtechnik" in den Jahren 1993-1997.*

Untersuchung	Untersuchungsumfang (ha)					
	1993	1994	1995	1996	1997	Gesamt
Ertragsermittlung / -kartierung Mähdrusch	16,8	33,3	35,0	43,1	31,5	159,7
Ertragsermittlung / -kartierung Häckseln	7,2		10,1			17,3
Ertragsermittlung / -kartierung Rundballen	6,3					6,3
Ertragsermittlung / -kartierung Kartoffeln					7,9	7,9
Bodenwiderstand Horizontalpenetrometer				6,0		6,0
teilschlagvarierte Stickstoffdüngung				7,1	7,1	14,2
Gülleeinbringung in wachsende Maisbestände	8,6	7,1	1,9	6,5	4,7	28,8
<b>Gesamt</b>	<b>38,9</b>	<b>40,4</b>	<b>47,0</b>	<b>62,7</b>	<b>51,2</b>	<b>240,2</b>

Die fortgeführte Unterstützung der lokalen Ertragsermittlung beim Mähdrusch wurde durch die Ertragskartierung ergänzt (AUERNHAMMER et al., FAM-Berichte 3, 5, 9, 13). Analysen der Verteilung der Relativerträge der Erntejahre 1993-1997 ergaben für Schläge mit durchgängiger Ertragsmessung eine sehr hohe Stabilität der Ertragsmuster (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 22).

Die Entwicklung und Untersuchung von Meßverfahren zur Durchsatz- und Ertragsermittlung im selbstfahrenden Feldhäcksler führten bei der Verwendung eines radiometrischen Meßverfahrens zu gleichen Meßfehlern wie beim Mähdrusch (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 5). Hierdurch werden Analysen über mehrere Jahre und unter Einbeziehung von Feldfutter möglich (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 22).

Die 1997 erstmalig in Deutschland vorgenommenen Untersuchungen zur Ertragsermittlung in einem einreihigen gezogenen Kartoffelroder zeigte, daß auch mit "Bandwaage-technik" im mobilen Einsatz vergleichbare Genauigkeiten erreichbar sind (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 22).

Demgegenüber trat bei den Untersuchungen zur Messung des Bodenwiderstandes in unterschiedlichen Tiefen mit einem Horizontalpenetrometer ein sehr hoher Verschleiß an den Meßelementen, besonders am Feuchtesensor auf. Ebenso waren die Kräfte auf die Sensorträger

und den Rahmen des Meßgerätes so groß, daß es zu starken Deformationen kam. Vor einem groß-flächigen Praxiseinsatz sind noch umfangreiche Weiterentwicklungen der Sensorik, der Träger und des Rahmens erforderlich (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 13).

Die Technik für die teilschlagvarierte Stickstoffdüngung, deren Elektronikkomponenten auf Basis von LBS kommunizieren, war in der Lage Steuerungsanweisungen innerhalb einer noch ausreichenden Reaktionszeit um-zusetzen. Die Einhaltung der vorgegebenen Ausbringmengen war dabei sehr gut (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 13).

Die in den Jahren 1995-1997 auf einem leichten Trägerfahrzeug mit großer Bodenfreiheit aufgebaute Technik zur Ausbringung von Gülle in wachsende Maisbestände (Wuchshöhe 0,6-1,0 m) hat sich als praxistauglich erwiesen. Die 1996 und 1997 zur bodennahen Ausbringung verwendeten Schleppschuhe stellen einen Kompromiss zwischen der "Schonung" der erosionshemmenden Pflanzenmulchschicht und dem Wunsch nach Injektion in den Boden dar. Bei harten verkrusteten Böden ist die Funktion jedoch unbefriedigend (AUERNHAMMER et al., FAM-Bericht 13, 22).

#### 4. Schlussfolgerungen und Ausblick

In der Hauptphase des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München wurden im Teilprojekt A7 eine Reihe von technischen Komponenten für die teilschlagspezifische Pflanzenproduktion untersucht.

Die lokale Ertragsermittlung im Mähdrescher wird heute von den wichtigsten Erntemaschinenherstellern als Zusatzausrüstung angeboten. Innerhalb der nächsten zwei Jahre kann das gleiche für Ertragsmeßtechnik für Feldhäcksler erwartet werden. Auch für die Ertragsermittlung bei Hackfrüchten stehen erste Lösungen zur Verfügung.

Neben den absoluten Meßgenauigkeiten, die schon eingehend untersucht wurden, ist zukünftig eine detailliertere Kenntnis der übrigen Fehler im gesamten Meßsystem "lokale Ertragsermittlung" notwendig. Hierzu sind Verzögerungen, Verschleppungen und Puffereffekte im Mähdrescher ebenso zu zählen wie Abweichungen bei der Arbeitsbreite der Maschine und bei der Positionsgenauigkeit des Ortungsverfahrens.

Für die Umsetzung der teilschlagvariierten Düngung müssen für verschiedene Standorte unterschiedliche Strategien entwickelt und definiert und über mehrere Jahre hinweg untersucht und dann offen diskutiert werden. Hierbei ist besonders die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen allen betroffenen Fachrichtungen notwendig. Dann wird der teilschlagspezifische Pflanzenbau, das "Precision Farming", sein Potential für eine nachhaltige, umweltgerechte Nahrungsmittelproduktion ausschöpfen können.

#### Verwendete Literatur

**BLACKMOORE, B.S., P.N. WHEELER, J. MORRIS, R.M. MORRIS, R.J.A. JONES (1994):** The Role of Precision Farming in Sustainable Agriculture: A European Perspective. In: Proceedings of Site-Specific Management for Agricultural Systems, Second International Conference in Mineapolis, March 27-30, 1994, pp. 777-795, American Society of Agronomy, Inc., 1995

- CAMPBELL, R.H., S.L. RAWLINS, S. HAN (1994):** Monitoring Methods for Potato Yield Mapping. Paper No. 941584. ASAE St. Joseph, MI.
- CASTELNUOVO, R. (1994):** Environmental Concerns Driving Site-Specific Management in Agriculture. In: Proceedings of Site-Specific Management for Agricultural Systems, Second International Conference in Mineapolis, March 27-30, 1994, pp. 867-881, American Society of Agronomy, Inc., 1995
- COLVIN, T.S., D.B. JAYNES, D.L. KARLEN, D.A. LAIRD, J.R. AMBUEL (1996):** Six Year Yield Variability within a Central Iowa Field. In: Proceedings of the Third International Conference Precision Agriculture in Minneapolis. 1997. Robert, P.C., R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) Minneapolis, MN. June 23-26, 1996. ASA, CSSA, SSSA, Madison , WI. pp. 583-585.
- FORNEY, D.R, L.D.GAULTNEY (1996):** Application of Site-Specific Farming in a Sustainable Agriculture Project at Chesapeake Farms. In: Proceedings of the Third International Conference Precision Agriculture in Minneapolis. 1997. Robert, P.C., R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) Minneapolis, MN. June 23-26, 1996. ASA, CSSA, SSSA, Madison , WI. pp. 1053-1063.
- GOTWAY, C.A., R.B. FERGUSON, G.W. HERGERT (1996):** The Effects of Mapping and Scale on Variable Rate Fertilizer Recommendations for Corn. In: Proceedings of the Third International Conference Precision Agriculture in Minneapolis. 1997. Robert, P.C., R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) Minneapolis, MN. June 23-26, 1996. ASA, CSSA, SSSA, Madison , WI. pp. 321-331.
- LAMP, J.A., J.L. ANDERSON, G.W. REHM, R.H. DOWDY (1996):** Grain Yield Stability in Continuous Corn and Corn-Soybean Cropping Systems on a Sandy Land. In: Proceedings of the Third International Conference Precision Agriculture in Minneapolis. 1997. Robert, P.C., R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) Minneapolis, MN. June 23-26, 1996. ASA, CSSA, SSSA, Madison , WI. pp. 417-425.
- REITZ, P. UND H.D. KUTZBACH (1992):** Technische Komponenten für die Erstellung von Ertragskarten während der Getreideernte im Mähdrösch. VDI-Gesellschaft Agrartechnik (VDI-AGR) Düsseldorf, H.14, S.91-106.
- SCHNUG, E., S. HANEKLAUS, J.LAMP (1990):** Economic and Ecological Optimisation of Farm Chemical Application by "Computer Aided Farming". Technical Abstracts and Poster Abstracts on "International Conference on Agricultural Engineering (AG ENG '90)", Berlin, VDI-AGR/MEG, pp. 161-162.
- SCHUELLER, J.K., (1987):** Determination of Spatially Variable Yield Maps. Paper No. 871533. ASAE St. Joseph, MI.
- SKOTNIKOV, A., P.C. ROBERT (1996):** Site Specific Crop Management - A System Approach. In: Proceedings of the Third International Conference Precision Agriculture in Minneapolis. 1997. Robert, P.C., R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) Minneapolis, MN. June 23-26, 1996. ASA, CSSA, SSSA, Madison , WI. pp. 1145-1153.
- VANSICHEN, R., J. DE BAERDEMAKER (1991):** Continuous Wheat Yield Measurement on a Combine. In: Automated Agriculture for the 21st Century, St. Joseph, ASAE Publication 11-91, pp. 346-355.