

# LOKALE ERTRAGSERMITTLUNG BEIM MÄHDRUSCH

Hermann Auernhammer und Markus Demmel, Freising-Weihenstephan

**In dreijährigen Versuchen wurden mit zwei Mähdreschern und unterschiedlichen Meßsystemen Ertragsermittlungen zu Getreide und Körnermais durchgeführt. Die Ortung der Mähdrescher erfolgte im Vorversuchsjahr mit einem „Globalen Positionierungssystem (GPS)“. In den beiden Hauptversuchsjahren kamen differentiell arbeitende Systeme zum Einsatz. Ertrags- und Ortungsdaten wurden zu Ertragskartierungen mit unterschiedlicher Rasterung und zu Isoertragsflächen mit verschiedenen Ertragsklassierungen verrechnet. Nach mehr als 400 ha Druschfläche kann die Genauigkeit der eingesetzten Meßgeräte und der Ortungstechnik beurteilt werden.**

Die Erntetechnik hat mit der Einführung des Mähdrusches eine revolutionäre Veränderung erfahren. Arbeitstradition, -organisation und Schlagkraft wurden über Nacht verändert. Mit dem eigenen Mähdrescher erhielt der Landwirt plötzlich zusätzliche Informationen über sein Feld. Direkt während der Arbeit konnte er den Bestand, die Verunkrautung, den Reifezustand und den Ertrag vor Ort erfassen und im Gedächtnis zuordnen. Die Zahl der Säcke war eine einfache Kontrollgröße. Allerdings dauerte dieser Zustand nicht lange. Das Gebinde „Sack“ ist verschwunden. Fremde Arbeitskräfte ernten heute meist überbetrieblich die Felder. Verblieben ist bei rein innerbetrieblicher Nutzung ein Schätzwert über den erzielten Ertrag. Wird das Erntegut verkauft, dann steht nur die Gesamtinformation „Ertrag/Schlag“ oder „Ertrag/Betrieb“ zur Verfügung. Ernte heute ist deshalb gleichzusetzen mit Informationsverlust. Aufgabe der Landtechnik muß es deshalb sein, die in der Vergangenheit schon vorhandene Information dem Landwirt wieder zur

PD Dr. habil. Hermann Auernhammer und DIa Markus Demmel sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der TUM-Weihenstephan (Leitung: Prof. Dr. H. Schön).

Tab. 1: Versuchskennzahlen

Kenngröße	Erntejahr		
	1990	1991	1992
Mähdreschertyp + Ertragsmeßgeräte	CASE DANIA 8900 DATAVISION- FLOWCONTROL  CLAAS DO 108 CLAYDON YIELD-O-METER	MF 34 RS DATAVISION-FLOWCONTROL (Massestrommeßprinzip)  CLAAS DO 108 Maxi CLAAS YIELD-O-METER (Volumenmeßprinzip)	MF 40 RS DATAVISION-FLOWCONTROL  CLAAS DO 108 Maxi CLAAS YIELD-O-METER
Ortungssysteme	SEL GLOBOS LN 2000 (GPS)	SEL GLOBOS LN 2000 (GPS-Positionskorrektur)	SEL GLOBOS LN 2000 (GPS-Positionskorrektur)  ASHTECH MXII – Feststation + ASHTECH Sensor – Mobileinheit (Satellitenentfernungskorrektur)  ASHTECH MXII – Feststation + TRIMBLE JUPITER – Mobileinheit (Satellitenentfernungskorrektur)  ASHTECH MXII – Feststation + ASHTECH MXII – Mobileinheit (Satellitenentfernungskorrektur)
Druschflächen	55 ha	200 ha	150 ha

Verfügung zu stellen und weiter zu verbessern. Gleichzeitig muß versucht werden, diese Informationen so zu verarbeiten, daß damit umweltschonendere Produktion möglich wird. Mähdrusch wird dadurch neben Körner- und vielleicht auch Strohernte zur Informationsgewinnung, verbunden mit Informationsauswertung und Informationsbereitstellung.

**Maschinenausstattung für die neue Aufgabe**

Ausgehend von diesen Grundüberlegungen und Zielsetzungen wurde in den zurückliegenden drei Jahren in einem Großversuch diese neue Form des Mähdrusches untersucht. Das Erntejahr 1990 diente als Vorversuchsphase für die beiden Erntejahre 1991 und 1992. Zur Verfügung standen jeweils zwei handelsübliche Mähdrescher mit firmenseitig installierter Durchflußmeßtechnik für die Ertragsermittlung nach dem Vo-

lumen auf Zellenradbasis und nach dem Massestrommeßprinzip. Institutsseitig wurde dazu in jede der Maschinen ein Satellitenortungssystem GPS (Global Positioning System) eingebaut. Zur Ernte 1990 kam ein einfaches GPS zum Einsatz. In der Ernte 1991 wurden die Systeme über Telemetrie und Referenzstation zu einem differentiellen System (DGPS) nach dem Prinzip der Positionskorrektur (position correction) ausgebaut. Schließlich wurde zur Ernte 1992 jeweils zusätzlich ein DGPS auf jeder Maschine installiert, welches nach dem Prinzip „Entfernungskorrektur jedes Einzelsatelliten“ (pseudo range correction) arbeitete. Immer waren das Ertragsmeßsystem und das Ortungssystem auf jedem Mähdrescher mit einem „Robust-PC“ zur Datenaufzeichnung über V.24-Schnittstellen verbunden. Die jeweilige Meßwertabfrage und Datenaufzeichnung erfolgte unterschiedlich von Jahr zu Jahr im Ab-

Tab. 2: Zuordnung der Datensätze zu den Hauptversuchen der Erntejahre 1991 und 1992 in Scheyern nach den eingesetzten Ertragsmeßgeräten

Meßgerätetyp	Erntejahr		Summe
	1991 (WW ORESTIS)	1992 (SG SISSI)	
Volumenmeßgerät	40	39	79
Massestrommeßgerät	72	60	132
Summe	112	99	211

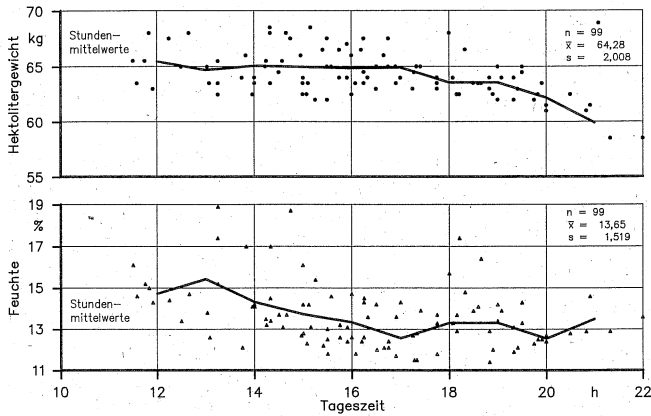


Bild 1: Hektolitergewichte und Kornfeuchten als Einzelwerte je Korntank und als Stundenmittelwerte über der Tageszeit während der Ernte 1992 in Scheyern

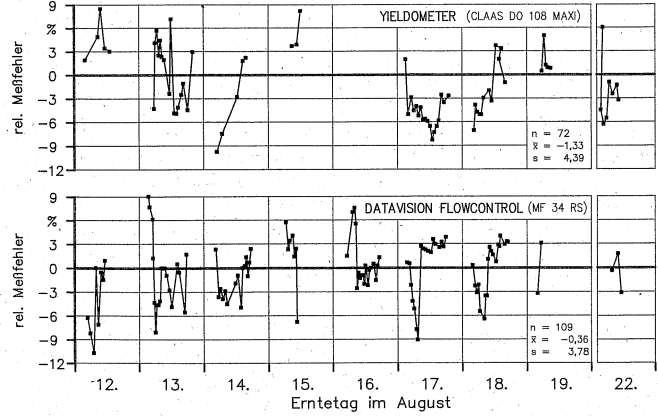


Bild 2: Relative Meßfehler von Ertragsmeßgeräten bei Winterweizen während der Ernte in Scheyern 1991 (Sorte ORESTIS; Erntezeit 12. 8. bis 22. 8. 1991; 120 ha; mittl. Ertrag 58,5 dt/ha)

stand zwischen ein und sieben Sekunden. An verschiedenen Standorten wurde Getreide und in einem Falle auch Mais gedroschen. Die Hauptversuche fanden im Rahmen von Untersuchungen im „Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM)“ in Scheyern statt. Einschließlich der jeweiligen Vorversuche wurden mehr als 400 ha Fläche abgeerntet (Tab. 1). Gravierende Störungen traten weder im mechanischen noch im elektronischen Bereich auf.

### Online Ertragsmessung

Zur Ertragsermittlung standen während der drei Versuchsjahre jeweils ein Volumen- und ein Massestrommeßgerät zur Verfügung. Trotz Mährescherwechsel handelte es sich dabei immer um baugleiche Meßgeräte, so daß diese ohne Einschränkung über die Jahre verglichen werden können. Die Kalibrierung der Geräte erfolgte nach Vorgaben der Hersteller zu Erntebeginn und zu jedem Schlagwechsel. Abweichend davon wurde während der Ernte 1992 beim Volumenmeßgerät nach jeder Korntankfüllung neu kalibriert, um aus diesen Ergebnissen den Kalibriereinfluß analysieren zu können. In den Hauptversuchen der beiden Erntejahre wurde die Genauigkeit der Ertragsmessung durch Gegenwiegung der einzelnen Korntankinhalte auf einer betriebseigenen geeichten Brückenwaage ermittelt. Dabei wurde gleichzeitig die Kornfeuchte und das Hektolitergewicht bestimmt und zu einem Datensatz je Korntank zusammengefaßt. Insgesamt ergaben sich für alle Versuche zusammen 211 vollständige Datensätze (Tab. 2).

sen beim Hektolitergewicht und bei der Kornfeuchte über der Tageszeit aus (Bild 1).

Während der Ernte 1991 veränderten sich die Hektolitergewichte über dem Tagesablauf nicht, hingegen war 1992 ab 18.00 Uhr ein deutlicher Abfall zu verzeichnen. Die Kornfeuchten zeigten in den beiden Jahren über dem Tagesablauf vergleichbare Tendenzen mit einer Abnahme bis 16.00 Uhr, einer gleichbleibenden Phase bis etwa 20.00 Uhr und einem darauf folgendem Anstieg.

Unter diesen Bedingungen erzielten die eingesetzten Mährescher mit ihren Meßsystemen unterschiedliche Ergebnisse bei der Genauigkeit der Ertragsermittlung je Korntank (Bild 2).

Bei der Ernte 1991 lag die mittlere Abweichung des relativen Meßfehlers beim Volumenmeßsystem bei  $-1,33\%$ , beim

Massestrommeßsystem dagegen bei  $-0,36\%$ . Beide Systeme zeigten demnach immer geringere Erträge als die tatsächlich geernteten an. Allerdings stellt diese Abweichung nur den Kalibrierfehler dar.

Die Meßgenauigkeit wird richtiger mit der Streuung um den mittleren Meßfehler über die Standardabweichung beschrieben. Danach lagen die Meßfehler beim Volumenmeßgerät in etwa 70% aller Fälle zwischen  $-5,72$  und  $+3,06\%$ . In etwa 95% aller Fälle finden sie sich in einer Spannweite zwischen  $-10,11$  und  $+7,45\%$ . Beim Massestrommeßgerät sind die vergleichbaren Bereiche  $-4,14$  und  $+3,42\%$  sowie  $-7,92$  und  $+7,2\%$ . Bei der Ernte 1992 wurde, wie oben erwähnt, das Volumenmeßgerät zu jeder Tankfüllung neu kalibriert. Damit konnte der Kalibrierfehler gegen Null gebracht und gleichzeitig die Spannweite der Meßfehler reduziert werden.

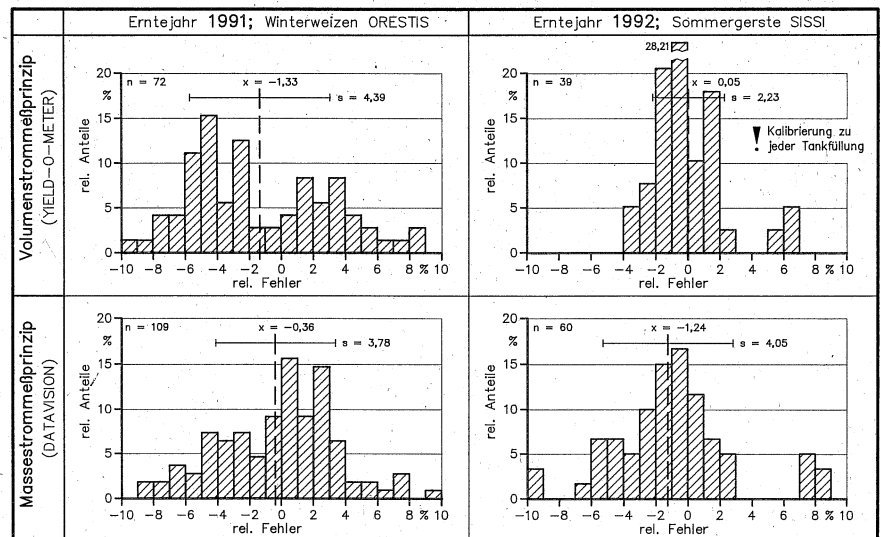


Bild 3: Häufigkeiten der rel. Meßfehler bei der Ertragsermittlung (Mähdrusch) in Scheyern 1991 und 1992 mit Volumen- und Massestrommeßeinrichtungen

Die beiden Erntejahre zeichneten sich bei jeweils eng begrenzter Ernteperioden mit unterschiedlichen Verhältnis-

Bei wesentlich weniger Meßwerten als im Vorjahr liegen nun etwa 70 % der Meßfehler im Bereich von  $\pm 2,20$  % und demzufolge etwa 95 % aller Meßfehler im Bereich von  $\pm 4,50$  %. Beim Massestrommeßsystem ergab sich eine geringe Verschlechterung des Ergebnisses. Werden jedoch die Meßwerte des ersten Druschtages und die starken Abweichungen am letzten Druschtag (Drusch von Restflächen und kleinsten Schlägen) herausgenommen, dann wiederholt sich nahezu exakt das Ergebnis der Ernte 1991.

Zugeordnet nach Fehlerklassen mit einer Breite von jeweils 1 % sind für beide Erntejahre charakteristische Verteilungsformen zu erkennen (Bild 3).

Sie decken zur Ernte 1991 den gesamten Bereich von -10 bis +10 % ab. Zur Ernte 1992 konzentrieren sie sich dagegen stärker zur Mitte hin. In beiden Jahren können allerdings weiter vom Mittelwert abweichende Werte den kleinen Schlägen (nur eine Korntankfüllung) oder dem Restflächendrusch zugeordnet werden.

Alle Daten zusammen erlauben eine gezielte Analyse nach den Einflußfaktoren und -größen auf Meßfehler beider Meßsysteme insgesamt, auf jedes Meßsystem alleine und auf jedes Erntejahr. Als Zielgröße wird der absolute Meßfehler  $U$  [t/Korntank] angesetzt. Abhängigkeiten werden zur Korntankfüllung  $KTI$  [t] mit dessen absolutem Gewicht, zum Hektolitergewicht  $HLG$  [kg/hl], zur Kornfeuchte  $KF$  [%], zur Tageszeit  $TZ$  [h] und zur Getreideart  $GA$  beziehungsweise zur Form der Kalibrierung als Einzeltankkalibrierung  $ETK$  berechnet. Die beiden zuletzt genannten Einflußgrößen sind Binärvariable mit den Werten 0 = Winterweizen bei  $GA$  sowie nein bei  $ETK$  und 1 = Sommergerste bei  $GA$  sowie ja bei  $ETK$ . Als Grad des Zusammenhanges wird das Bestimmtheitsmaß ( $B$ ) in % genannt.

Bei Betrachtung aller verfügbaren 211 Meßwerte über beide Erntejahre ergibt sich der lineare Zusammenhang

$$U = 0,498 - 0,0455 \cdot KTI - 0,0081 \cdot HLG + 0,0112 \cdot TZ \quad (B = 15,9 \%)$$

Danach beträgt der nicht erklärte Meßfehler je Korntankfüllung nahezu eine halbe Tonne. Er verringert sich durch signifikante Einflüsse bei Zunahme des Korntankinhaltes je 1 t um 45 kg/Korntankfüllung (mit dem mittleren Gewicht je Korntank von 3,88 t werden daraus -176,6 kg). Er verringert sich weiter um 8 kg/Korntankfüllung je kg Zunahme Hektolitergewicht (das mittlere Hektolitergewicht von 67,67 kg führt zu -544,7 kg). Durch die Tageszeit erhöht

sich der Meßfehler um 11,2 kg/h (mit 16,10 h als Mittel werden daraus 180,3 kg). Insgesamt errechnet sich nach dieser Gleichung ein Fehler von 46,3 kg je Korntankfüllung. Bedingt durch das vorliegende Bestimmtheitsmaß können mit der gefundenen Funktion nur etwa 16 % des Meßfehlers erklärt werden. Die restlichen 84 % sind dagegen zufälliger Art.

Werden die beiden eingesetzten Meßsysteme einzeln betrachtet, dann zeigen sich die eigentlichen Eigenschaften der Systeme:

Für das *Volumenmeßsystem* führt die lineare Korrelation und Regression aus 79 Datensätzen zur Gleichung

$$U = 3,155 - 0,0389 \cdot HLG - 0,2107 \cdot ETK - 0,0378 \cdot KTI - 0,0236 \cdot KF$$

$$(B = 49,2 \%)$$

Danach sind nahezu 50 % des aufgetretenen Fehlers erklärbar und somit eigentlich auch zu beseitigen. Mit 34,4 % stellt das Hektolitergewicht die wichtigste Einflußgröße dar. Ihr folgt die Form der Kalibrierung mit 6,7 %, der Korntankinhalt mit weiteren 5,7 % und schließlich die Kornfeuchte mit restlichen 2,4 %.

Wird jedoch auf die Einzeltankkalibrierung verzichtet, also nach Vorgabe des Herstellers und nach der „Machbarkeit im Feld“ verfahren, dann wird der absolute Meßfehler zu insgesamt 51 % und der relative Meßfehler sogar zu nahezu 62 % durch das Hektolitergewicht und den Korntankinhalt beeinflusst. Offensichtlich wird dadurch die Schwäche von Volumenmeßgeräten beim Einsatz in inhomogenen Medien und der Zwang zur häufigen manuellen oder automatischen Kalibrierung.

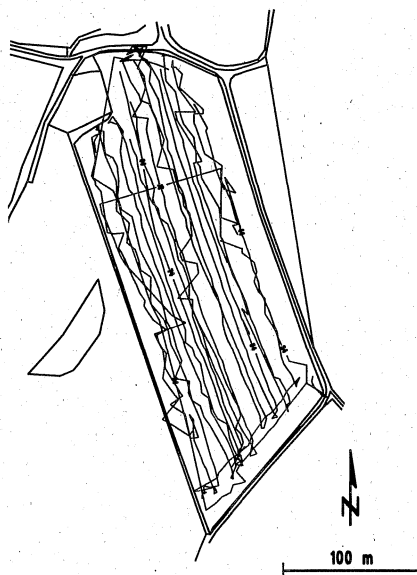


Bild 4: Fahrspuren des Mähdreschers auf dem „Unteren Geißwegfeld“ 1991

Für das *Massestrommeßsystem* führt die lineare Korrelation und Regression aus 132 Datensätzen zur Gleichung

$$U = -0,335 + 0,0203 \cdot TZ - 0,0562 \cdot GA \quad (B = 12,1 \%)$$

Sie bestätigt die Unabhängigkeit dieses Meßprinzips gegenüber dem Hektolitergewicht ( $r = 0,059$ ) und zeigt zugleich, daß trotzdem Kalibrierungen während des Tages durch wechselnde Kornfeuchtegehalte und andere Interaktionen unverzichtbar sind. Auch stellt sich die Frage, ob die Kalibriereroutinen bei dem eingesetzten Meßsystem nicht weiter verbessert werden können, da auch nach Neukalibrierung ausnahmslos Meßfehler auftraten.

### Ortung wird besser und zuverlässiger

Neben der laufenden Ertragsmessung wird die Ortung zur lokalen Ertragszuweisung benötigt. Ausgehend von 1990 verbesserten sich die erreichten Genauigkeiten ständig und die Verfügbarkeit näherte sich nahezu 100 %.

Zur Ernte 1991 konnte erstmals auf ein online-DGPS zurückgegriffen werden. Schon das einfache GPS erreichte eine Genauigkeit ( $p = 95$  %) bei der nördlichen Breite ( $X$ ) von  $\pm 28$  m, bei der östlichen Länge ( $Y$ ) von  $\pm 24$  m und bei der Höhe über NN ( $Z$ )  $\pm 46$  m. Über die Positionskorrektur mit einer Update-Rate von 7 s führte dies zu mittleren verbleibenden Restfehlern von etwa 15 bis 30 cm. Allerdings streuten die Restfehler in einem relativ weiten Bereich. Sie ergaben Standardabweichungen von etwa 6,4 m für  $X$  und  $Y$  und von nahezu 8 m bei  $Z$ .

Anhand der Fahrspuren eines Mähdreschers lassen sich diese Ergebnisse einfach visualisieren (Bild 4).

Diese können im „Postprocessing“ (Nachbearbeitung im Büro) durch gleitende Mittelwertbildung zu realitätsnahen Fahrabläufen verrechnet werden, wobei wirkliche Ausreißer problemlos zu beseitigen sind.

Zum Jahresende 1991 wurden vom GPS-Betreiber die S/A-Degradation auf das Positionssignal aufgeschaltet und dadurch eine deutliche Verschlechterung der Ortsgenauigkeit verursacht. Im einfachen GPS-Einsatz führte dies zu mittleren Fehlern von  $\pm 65$  m bei  $X$  und  $Y$  und zu  $\pm 117$  m bei  $Z$ . Im Versuch 1992 wurde deshalb zum „pseudo range-Korrekturverfahren“ übergegangen und gleichzeitig eine leistungsfähigere Festbeziehungsweise Referenzstation eingesetzt. Die damit erreichten Ergebnisse befinden sich derzeit noch in Auswertung. Allerdings kann die Darstellung

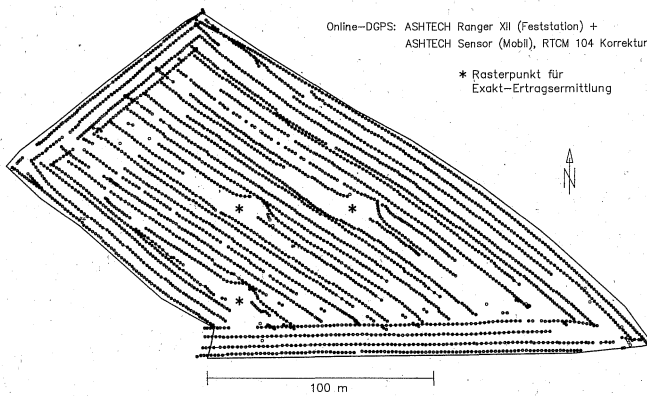


Bild 5: Fahrspuren des Mähdeschlers auf dem „Oberen Geißwegfeld“ 1992 (relative Positionierung)

der Fahrspuren schon einen ersten Eindruck geben (Bild 5).

Dabei stellt jeder Fahrspurpunkt eine Positionsbestimmung mit Ertragszuordnung dar. Kreuzende Fahrspuren sind nicht zu erkennen, woraus bei einer Arbeitsbreite des Mähdeschlers von 5,5 m auf einen mittleren Ortungsfehler von  $\leq 2,5$  m geschlossen werden kann.

### Ertragskarten als visualisierte Flächeninformation

Ortungs- und Ertragsdaten können einfach über „geografische Informationssysteme (GIS)“ zu Ertragskartierungen verarbeitet werden. Dazu wurden in den

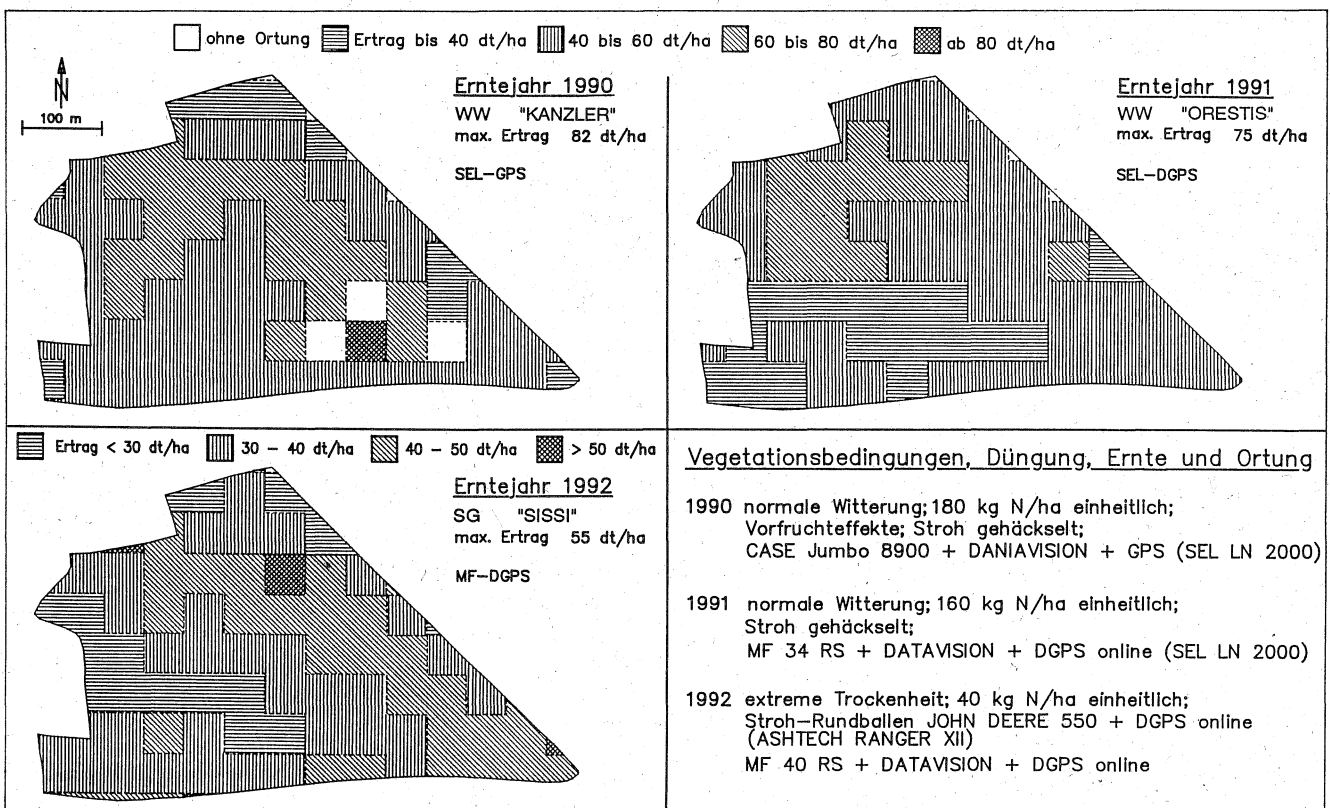
Untersuchungen zwei unterschiedliche Systeme eingesetzt.

Mit ARC/INFO wurden nach entsprechender Datenvorverarbeitung Rastergrafiken mit Kantnlängen der einzelnen Rasterflächen von 5, 12, 24 und 50 m erstellt. Als Klassenbreite für die Rasterzuordnung wurde für Winterweizen 20 dt/ha und für Sommergerste 10 dt/ha gewählt. Ertragskartierungen wurden nach diesem Verfahren für alle Einzelschläge und für den gesamten Betrieb in Scheyern zu den Erntejahren 1991 und 1992 durchgeführt. Zur Veranschaulichung soll das schon erwähnte „Flachfeld“ herangezogen werden. Auf ihm fanden auch die ersten Vorversuche zur Ernte 1990 statt, weshalb für diesen

Schlag Ertragskarten von drei aufeinanderfolgenden Jahren zur Verfügung stehen. Immer wurde dieses Feld vom Mähdeschler mit dem Massestrommeßgerät abgeerntet (Bild 6).

Während im ersten Erntejahr noch Flächen ohne Ortungsdaten vorhanden sind, verschwinden diese zur Ernte 1992 vollständig. Bei homogener Düngung innerhalb der einzelnen Jahre finden sich Zonen gleichen Ertrages in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Gegebenheiten. Zur Ernte 1990 wirkt die Vorfrucht vor allem auf dem südwestlichen Teil mit höherem Ertrag gegenüber den Folgejahren. Im „normalen“ Erntejahr 1991 werden drei typische Ertragszonen erkennbar. Sie differenzieren sich im „extrem trockenen“ Jahr 1992 wieder stärker.

Im Gegensatz zur rastermäßigen Ertragsdarstellung wurden mit dem GIS SPANS die verfügbaren Ortungs- und Ertragsdaten zu ungerasterten Isoertragsflächen verrechnet. Aufgrund der geringen Fehler bei beiden Meßgrößen wurden neben der mit ARC/INFO gewählten Klassierung der Erträge auch sehr starke Verfeinerungen mit 10, 7,5 und 5 dt/ha-Klassen durchgeführt. Beispielhaft für das schon bekannte Flachfeld treten dadurch feinste Ertragsstrukturen zutage (Bild 7).



### Vegetationsbedingungen, Düngung, Ernte und Ortung

- 1990 normale Witterung; 180 kg N/ha einheitlich; Vorfruchteffekte; Stroh gehäckselt; CASE Jumbo 8900 + DANIAVISION + GPS (SEL LN 2000)
- 1991 normale Witterung; 160 kg N/ha einheitlich; Stroh gehäckselt; MF 34 RS + DATAVISION + DGPS online (SEL LN 2000)
- 1992 extreme Trockenheit; 40 kg N/ha einheitlich; Stroh-Rundballen JOHN DEERE 550 + DGPS online (ASHTECH RANGER XII); MF 40 RS + DATAVISION + DGPS online

Bild 6: Ertragskarten für das „Flachfeld“ in Scheyern zu den Erntejahren 1990 bis 1992 (Schlaggröße 16,6 ha; Rastergröße 50 · 50 m)

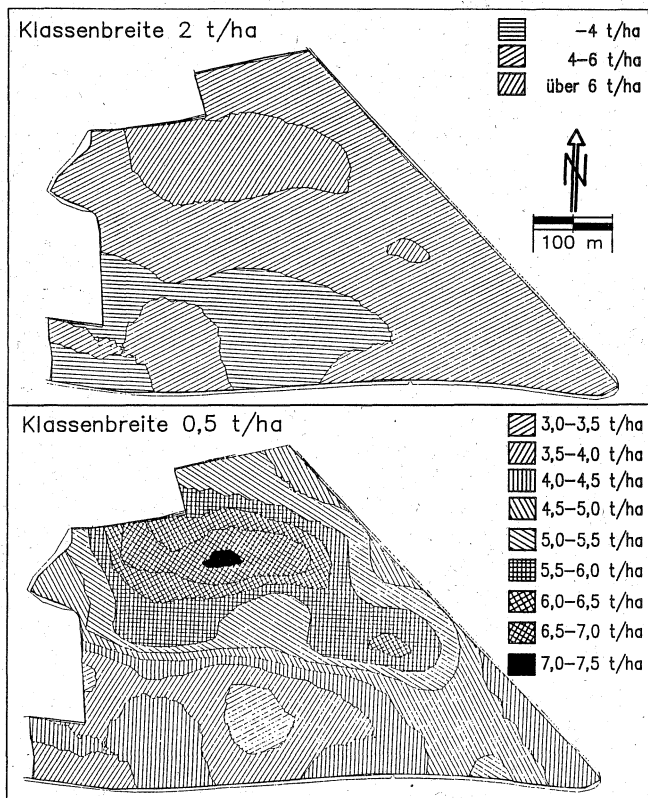


Bild 7: Ertragskarten für das „Flachfeld“ in Scheyern 1990 mit Ertragsklassen von 20 und 5 dt/ha

Die auf diesen Darstellungen gefundenen Grenzen setzen sich bei den gesamtbetrieblichen Auswertungen nahezu nahtlos auch über Feldgrenzen, Wege, Raine und Wasserläufe fort. Sie deuten damit auf die tatsächlich vorhandene Bodenfruchtbarkeit hin und werden so zu aussagefähigen Grundlagen teilschlagbezogener Behandlungsmaßnahmen.

### Einordnung der Ergebnisse und Ausblick

Aufbauend auf diese Untersuchungen können folgende Folgerungen gezogen werden:

- Die untersuchten Ertragsmeßgeräte reichen in ihrer Genauigkeit für den praktischen Einsatz aus. Um größere Fehler zu vermeiden, ist jedoch beim eingesetzten Volumenmeßprinzip eine automatische Kalibrierung anzustreben. Beim genutzten Massestrommeßsystem könnte vermutlich durch eine verbesserte Kalibrierroutine der derzeit vorhandene Meßfehler weiter reduziert werden.
- Das Satellitenortungssystem GPS arbeitet mittlerweile zuverlässig und stellt rund um die Uhr Positionsdaten zur Verfügung. Bei differentieller Nutzung nach dem „pseudo range-Prinzip“ liegen die Restfehler innerhalb der Arbeitsbreite eines Mähdreschers, so daß hoch-

genaue lokale Zuordnungen möglich sind.

- Die Verrechnung von Ertrags- und Ortungsdaten mit geografischen Informationssystemen führt zu aussagefähigen Ertragskartierungen für Flächen gleichen Ertrages in Form von gerasterten oder ungerasterten Isoertragsflächen. Mit allgemeingültigen Entzugsformeln können daraus lokale Entzugsbilanzen zusammengestellt werden.

- Aufbauend auf diese Informationen ist jedoch die bisher übliche Form der Bodenbeprobung zu ändern. Auch sie muß den Teilschlag berücksichtigen und dafür die Basiswerte zur benötigten Düngung liefern.

- Anknüpfend daran ist dann die Düngung nach Teilschlägen zu realisieren. Ob dazu lediglich mit Ortung veredelte heutige Technik zum Einsatz gelangt oder ob Mehrkammersysteme die punktbezogene Bereitstellung und Zuteilung der benötigten Nährstoffe übernehmen, ist noch nicht abzusehen.

- Sicher aber kann alle diese Technik nur überbetrieblich schnell und kostengünstig in die Praxis eingeführt werden. Sie ist in bezug zur lokalen Ertragsermittlung praxisreif und stellt dadurch eine neue produktionstechnische, vor allem aber umweltbezogene Herausforderung für Maschinenringe und Lohnunternehmer dar.

### Literatur

Bücher sind mit ● gezeichnet

- [1] Auernhammer, H.: Landtechnische Entwicklungen für eine umwelt- und ertragsorientierte Düngung. Landtechnik 45 (1990), H. 7/8, S. 272-278
- [2] Auernhammer, H. und M. Demmel: Lokale Ertragsermittlung im Mähdrescher mit Durchflußmeßgeräten und Satellitenortung. Landtechnik-Schrift, Landtechnik Weißenstephan (in Vorbereitung)
- [3] Auernhammer, H., M. Demmel, J. Rottmeier und T. Muhr: Future Developments for Fertilizing in Germany. ASAE: Summer Meeting Albuquerque, St. Joseph 1991, Paper-No. 911040
- [4] Auernhammer, H. and T. Muhr: GPS in a Basic Rule for Environment Protection in Agriculture. Proceeding of the 1991 Symposium "Automated Agriculture in the 21st Century", St. Joseph (USA) 1991, pp. 494-502
- [5] Auernhammer, H. und T. Muhr: The Use of GPS in Agriculture for Yield Mapping and Tractor Implement Guidance. DGPS '91 - First International Symposium Real Time Applications of the Global Positioning System. Düsseldorf 1991, Vol. II, pp. 455-465
- [6] Auernhammer, H., J. Rottmeier und H. Stanzel: Elektronikeinsatz in der Landtechnik zur Verringerung des Düngemitelesatzes und der Umweltbelastung im Futterbau. Forschungsbericht: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München 1991, Heft 38
- [7] Buschmeier, R.: CAF with Satellite Navigations System GPS. In: Technical Papers and Poster Abstracts in "International Conference on Agricultural Engineering (AG ENG '90) Berlin, VDI-AGR/MEG 1990, S. 88-89
- [8] Klöpfer, F., D. Murphy und E. Schnug: Ertragskartierung zur gezielteren Düngung. Landtechnik 47 (1992), H. 4, S. 177-178
- [9] Kutzbach, H. D. und P. Wacker: Getreideernte noch schneller und komfortabler. Landtechnik 45 (1989), H. 1, S. 22-29
- [10] Kutzbach, H. D. und P. Wacker: Mähdrescher. Landtechnik 47 (1992), H. 6, S. 264-267
- [11] Petersen, C.: Precision GPS Navigation for Improving Agricultural Productivity. GPS World 1991, Nr. 1, S. 38-43
- [12] Schnug, E., S. Haneklaus und J. Lamp: Economic and Ecological Optimization of Farm Chemical Applications by "Computer Aided Farming" (CAF). In: Technical Papers and Poster Abstracts in "International Conference on Agricultural Engineering (AG ENG '90) Berlin, VDI-AGR/MEG 1990, S. 162-163
- [13] Schueller, J. K. et al.: Determination of Spatial Variability Yield Maps. St. Joseph, ASAE Paper No. 91-3528
- [14] Searcy, S. W. and J. W. Tevis: Generation and Digitization of Management Zone Maps. S. Joseph, ASAE Paper No. 91-3528
- [15] ● VDI (zusammengest. H. Auernhammer und M. Mittermeier): VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik „Ortung und Navigation landwirtschaftlicher Fahrzeuge“. Düsseldorf, 1992, Heft 14, 212 S.